

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko - geologická fakulta

Institut geoinformatiky

**Analýza přírodních rizík na území
národního parku Muránska planina**

Diplomová práce

Autor:

Vedoucí diplomové práce:

Konzultant:

Bc. Matúš Petruška

RNDr. Ing. Boris Šír

RNDr. Jan Unucka Ph.D.

Ostrava 2010

PROHLAŠUJI ŽE

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Při práci jsem použil metodiku vypracovanou Ing. Andreou Majlingovou Ph.D.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 01.05. 2010

.....

Bc. Matúš Petruška

Pod Brezinkou 305/27
976 62 Brusno

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som sa chcel poďakovať najmä vedúcemu práce RNDr. Ing. Borisovi Šírovi a konzultantovi RNDr. Jánovi Unuckovi Ph.D. za poskytnuté konzultácie, na ktoré si aj počas svojho nabitého programu vždy ochotne našli čas. Ďalej by som chcel poďakovať aj Mgr. Petrovi Pastorekovi zo Štátnej ochrany prírody v Banskej Bystrici za väčšinu poskytnutých dát ako aj za konzultácie. Moja vďaka patrí aj Ing. Petrovi Borsányimu a RNDr. Jane Podolinskej zo Slovenského hydrometeorologického ústavu v Banskej Bystrici a Ing. Kristíne Kráľovičovej z Štátneho Geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave za ochotu pri poskytovaní potrebných dát. V neposlednom rade by som chcel poďakovať aj všetkým kamarátom zo správy Národného parku Muránska planina za poskytnuté dáta a informácie.

Anotácia

Diplomová práca sa zaoberá vybranými prírodnými rizikami – vodnou eróziou a pôdnymi zosuvmi, na území národného parku Muránska planina a jeho ochranného pásma. Na ich hodnotenie sú použité modely SWAT, SHALSTAB, USPED a morfometrická analýza reliéfu. Prvá časť práce sa zaoberá všeobecným opisom vybraných prírodných rizík, vymedzením a fyzicko-geografickou charakteristikou skúmaného územia. Druhá časť práce je venovaná problematike a opisu použitých metód, postupom práce jednotlivých modelov a analýze a hodnoteniu dosiahnutých výsledkov.

Kľúčové slová: SWAT, SHALSTAB, USPED, prírodné riziká, pôda, erózia, zosuvy

Anotation

The graduation thesis deals with selected natural hazards – water erosion and landslide – in the area of Muránska planina National Park and his zone of protection. This is evaluated by models like SWAT, SHALSTAB, USPED and morfometric topography analysis. The first part of my graduation thesis handles with general characterization of the selected natural hazards, allocation and physio-geographical characteristisc of the examined area. As far as the second part of the thesis is concerned, it is dedicated to presentation and description of methods used, modes of particular work models and analysis and evaluation of reached results.

Key words: SWAT, SHALSTAB, USPED, natural hazards, soil, erosion, landslide

Obsah

Úvod.....	1
1 Ciele práce a výber územia	2
2 Použité dáta a programové aplikácie.....	3
2.1 Použité dáta.....	3
2.1.1 DTM - Digitálny model terénu	3
2.1.2 CORINE LandCover/LandUse – Vrstva krajinného pokryvu.....	3
2.1.3 Vrstva pôdných druhov	4
2.1.4 Geologická vrstva	4
2.1.5 Klimatické dáta	4
2.1.6 Ďalšie vrstvy	4
2.2 Použitý softvér	4
2.2.1 ArcGIS.....	4
2.2.2 ArcView GIS	5
2.2.3 NCSS	5
3 Fyzicko - Geografická charakteristika územia	5
3.1 Geografická poloha a rozloha	6
3.2 Geologická charakteristika	6
3.3 Geomorfologická charakteristika	7
3.4 Pedologická charakteristika	10
3.5 Hydrologická a hydrogeologická charakteristika	12
3.6 Klimatologická charakteristika	14
3.7 Flóra a Fauna.....	15

3.8	Aktuálny stav využitia územia podľa CORINE Land Cover	16
3.9	Ochrana územia.....	18
4	Prírodné riziká a ich analýza	19
4.1	Vodná erózia	19
4.2	Zosuvy pôdy	22
4.2.1	Plošné zosuvy	24
4.2.2	Kryhové zosuvy	24
4.2.3	Prúdové zosuvy	24
4.3	Analýza prírodných rizík	25
5	SWAT	26
5.1	Vstupné dáta	27
5.2	Schematizácia povodí.....	27
5.3	Definícia využitia krajiny a pôdy.....	28
5.4	Distribúcia HRU – jednotiek hydrologickej odozvy.....	30
5.5	Definícia klimatických dát.....	30
5.6	Generovanie vstupov	32
5.7	Spustenie simulácie SWAT	33
5.8	Interpretácia výsledkov modelu SWAT	34
6	USPED	38
6.1	Predpríprava vstupných údajov.....	39
6.1.1	Faktor R – faktor eróznej účinnosti dažďa	40
6.1.2	Faktor C – Faktor ochranného vplyvu vegetácie	43
6.1.3	Faktor K – Faktor erodovateľnosti pôdy	44

6.1.4	Faktor P – Faktor protieróznych opatrení.....	45
6.2	Postup výpočtu modelu USPED	45
6.3	Interpretácia výsledkov modelu USPED.....	48
7	Analýza morfometrických parametrov a indexov reliéfu	51
7.1	Morfometrické parametre a ich výpočet.....	51
7.1.1	Stredná nadmorská výška subpovodí.....	52
7.1.2	Vertikálna členitosť.....	53
7.1.3	Hypsometrický integrál	54
7.1.4	Meltonov index subpovodí	56
7.1.5	Priemerný sklon svahov subpovodí	58
7.1.6	Topografický index	59
7.1.7	Plocha subpovodí	60
7.2	K-means zhuková analýza	61
7.3	Interpretácia výsledkov K-means zhukovej analýzy.....	61
8	SHALSTAB	65
8.1	Postup výpočtu.....	66
8.2	Interpretácia výsledkov modelu SHALSTAB	69
9	Porovnanie výsledkov	72
9.1	SWAT vs. USPED	72
9.2	Morfometrická analýza reliéfu vs. SHALSTAB	74
10	Záver.....	76
	Použité informačné zdroje	77
	Literatúra.....	77

Internetové zdroje	80
Mapové zdroje	81
Zoznam obrázkov	82
Zoznam tabuliek	83
Prílohy	84

Zoznam skratiek

CORINE	Coordination of Information on the Environment
DEM	Digital Elevation Model
DMT	Digitálny model terénu
ESRI	Economic and social research institute
GIS	Geograficko-informačný systém
HPJ	Hlavná pôdna jednotka
HRU	Hydrologic Response Unit – jednotka hydrologickej odozvy
MP	Muránska planina
NP	Národný park
NPR	Národná prírodná rezervácia
PJ	Pôdna jednotka
RC	Raster calculator
RUSLE	Revidovaná univerzálna rovnica straty pôdy
SHMU	Slovenský hydrometeorologický ústav
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
S-JTSK	Súradnicový systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej
ŠGUDŠ	Štátny geologický ústav Dionýza Štúra
ŠOP	Štátna ochrana prírody
USLE	Universal Soil Loss Equation
USPED	Unit Stream Power - based Erosion Deposition
VÚPOP	Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy

Úvod

Pôda je pre existenciu človeka nenahraditeľná. Patrí k základným prírodným zdrojom a hoci je klasifikovaná ako obnoviteľný zdroj, čas, ktorý je potrebný k jej vytvoreniu je veľmi dlhý. Preto ju z praktického hľadiska môžeme považovať za neobnoviteľný zdroj. Musí preto medzi priority človeka patriť práve jej ochrana. Tejto ochrane je venovaná značná pozornosť. V tejto súvislosti možno spomenúť veľké medzinárodné organizácie, ako OSN – FAO, UNESCO alebo Európsku hospodársku komisiu OSN. Z pohľadu ochrany pôdy bol významný rok 1972, kedy Európska rada vyhlásila Európsku chartu o pôde. Táto charta vyjadruje dôležitosť jej ochrany ako i význam pre človeka. V jednotlivých bodoch formuluje problémy a úlohy súvisiace s ochranou pôd. Aj napriek tomu je v dnešnej dobe mnoho z nich riešených na nedostatočnej úrovni. (Raclavský, 2005).

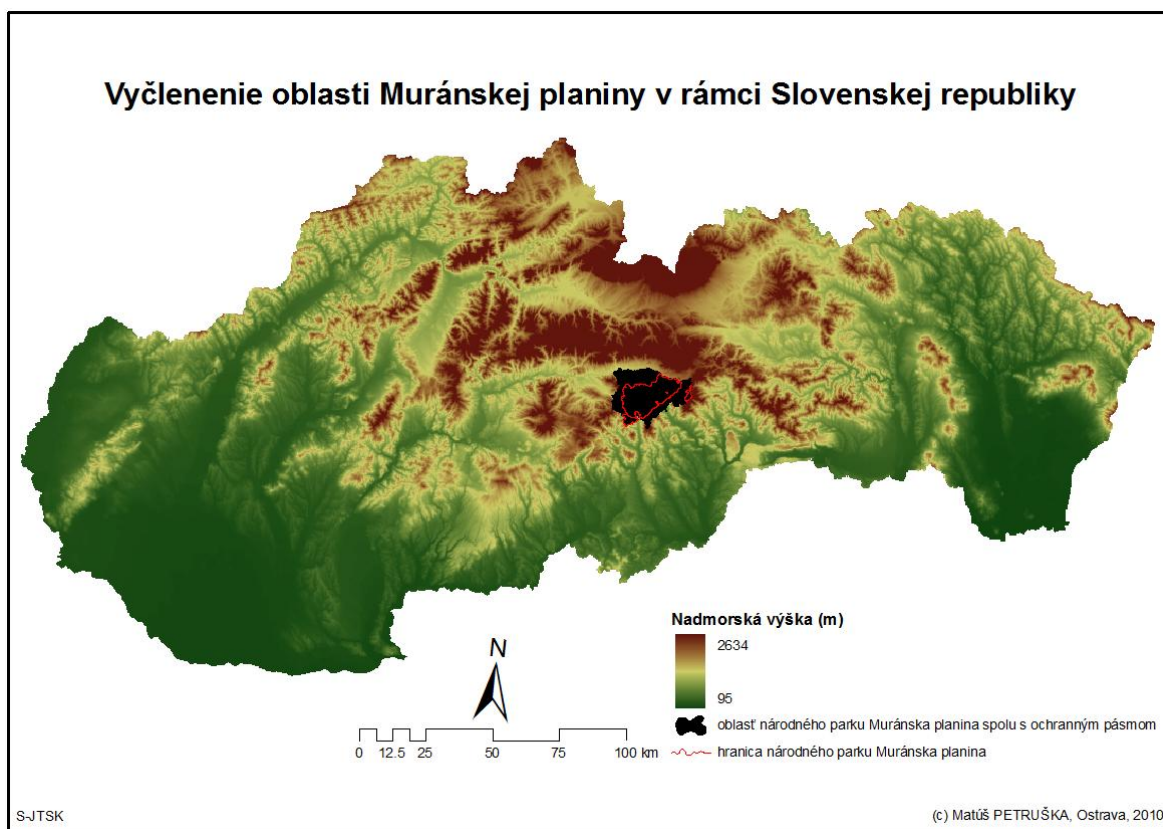
Európska charta o pôde :

1. Pôda je jedným z najdrahocenejších ľudských majetkov. Umožňuje život na zemskom povrchu rastlinám, živočíchom a ľuďom.
2. Pôda je obmedzený zdroj, ktorý je ľahko zničiteľný.
3. Moderná spoločnosť používa pôdu pre poľnohospodárstvo rovnako ako pre priemysel a ostatné účely. Politika regionálneho plánovania musí byť v súlade s vlastnosťami pôdy a dnešnými i budúcimi potrebami spoločnosti.
4. Poľnohospodári a lesníci musia používať metódy chrániace kvalitu pôdy.
5. Pôda musí byť chránená pred eróziou.
6. Pôda musí byť chránená proti znečisteniu.
7. Rozvoj urbanizácie musí byť plánovaný tak, aby spôsoboval pokiaľ možno malé škody susedným oblastiam.
8. V priebehu spracovania inžinierskych projektov musia byť ocenené vplyvy na pôdu tak, aby do ceny mohli byť zahrnuté primerané ochranné opatrenia.
9. Predstavuje nepostrádateľný súpis zdrojov pôdy.
10. Pre zabezpečenie širokého užívania a ochrany pôdy sa požaduje výskum a interdisciplinárna spolupráca.

11. Ochrana pôdy musí byť vyučovaná na všetkých úrovniach škôl a udržiavaná v očiach verejnosti v stále rastúcej miere.
12. Vlády a úradné orgány musia účelne plánovať, využívať a ochraňovať zdroje pôdy.

1 Ciele práce a výber územia

Cieľom tejto diplomovej práce je analýza vybraných prírodných rizík na území národného parku Muránska planina a jeho ochranného pásma, a to pomocou GIS a vybraných modelovacích prostriedkov. Konkrétne sa jedná o plytké svahové deformácie – plytké zosuvy pôdy a vodnú eróziu. Obe sa týkajú jednej z najvýznamnejších zložiek krajiny – pôdy.



Obrázok 1 - Vymedzenie územia Muránskej planiny

Výber oblasti Muránskej planiny (obr.1) nebol náhodný. Na prvom mieste treba spomenúť fakt, že na správe národného parku mám veľa osobných kontaktov. Po konzultácii s nimi som sa rozhodol práve pre riešenie tejto problematiky, keďže pokiaľ viem, takýto výskum

sa na tomto území zatiaľ nerealizoval. Veľkou výhodou bol aj fakt, že som nemal problém zo získaním väčšiny potrebných dát. V prípade otázok a problémov mi vždy ochotne pomohli. Ďalším dôvodom je aj samotná blízkosť tohto územia k môjmu trvalému bydlisku a tým pádom aj moja akási naviazanosť na toto územie. Je to jedinečná zmes tých najrôznejších prírodných krás sústredených na pomerne malom území. Bolo by teda potrebné pokúsiť sa poznať všetky riziká a ohrozenia, ktoré toto vzácne územie ohrozujú alebo v budúcnosti ohroziť môžu.

2 Použité dáta a programové aplikácie

K vypracovaniu diplomovej práce som použil špecializovaný GIS softvér. Potrebné dáta mi poskytli rôzne úrady a inštitúcie z celého Slovenska.

2.1 Použité dáta

Modelovanie zosuvov a predovšetkým vodnej erózie je náročné na vstupné dáta, ako i na použitý špecializovaný softvér. Medzi najdôležitejšie dáta patria digitálny model terénu – DTM, vrstva krajinného pokryvu – LandCover/LandUse, vrstva pôdných druhov, klimatické dáta o teplotách a zrážkach ako i ďalšie dáta. Získanie všetkých potrebných dát bolo z časového pohľadu asi najnáročnejšia časť práce.

2.1.1 DTM - Digitálny model terénu

Patrí medzi najdôležitejšie použité dáta. Poskytli mi ich na ŠOP (Štátnej ochrane prírody) v Banskej Bystrici. Má rastrovú podobu s priestorovým rozlíšením 25 m. Je vo formáte ESRI grid.

2.1.2 CORINE LandCover/LandUse – Vrstva krajinného pokryvu

CORINE Land Cover je projektom mapovania povrchu krajiny Európy pomocou interpretácie družicových snímok LANDSAT a ďalších podporných dát. Túto vrstvu mi poskytli takisto na ŠOP v Banskej Bystrici. Má vektorovú podobu a je vo formáte ESRI shapefile.

2.1.3 Vrstva pôdných druhov

Vrstvu pôdných druhov mi poskytli na Ústave pôdoznalectva a ochrany pôdy v Banskej Bystrici vo formáte ESRI shapefile. Vrstva opisuje pôdne typy a subtypy vyskytujúce sa v danej oblasti pomocou klasifikácie hlavných pôdných jednotkách – HPJ. Má vektorovú podobu.

2.1.4 Geologická vrstva

Aj táto vrstva bola vo formáte ESRI shapefile. Má vektorovú podobu. Poskytli mi ju na Geologickom ústave Dionýza Štúra v Bratislave.

2.1.5 Klimatické dáta

Dáta vo forme excel-ovských tabuliek mi poskytli zo Slovenského hydrometeorologického ústavu v Banskej Bystrici. Predstavujú klimatické údaje zo staníc na území Národného parku Muránska Planina, alebo v jeho tesnej blízkosti. Obsahovali údaje o priemerných mesačných zrážkach, priemerných maximálnych a minimálnych mesačných teplotách. Obsahovali aj údaje o lokalizácii týchto staníc a ich nadmorskú výšku.

2.1.6 Ďalšie vrstvy

Z ďalších použitých vrstiev možno spomenúť obrys územia Muránskej planiny, vrstvu vodných plôch a vodných tokov. Všetky boli vo formáte ESRI shapefile a poskytli mi ich na ŠOP v Banskej Bystrici ako i na Správe národného parku Muránska planina v Revúcej.

Všetky spomínané použité vrstvy boli v súradnicovom systéme S-JTSK. Pre väčšinu dát som nemusel chodiť osobne, ale boli mi zaslané na e-mail, čo malo pre mňa veľkú výhodu.

2.2 Použitý softvér

Na vypracovanie výsledkov diplomovej práce som použil špecializovaný GIS softvér. Boli to hlavne programy ArcGIS a ArcView GIS od firmy ESRI.

2.2.1 ArcGIS

ArcGIS predstavuje sadu viacerých integrovaných aplikácií ako ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene, a ďalšie. Bol vyvinutý firmou ESRI. Jeho možnosti sú

veľmi bohaté, slúži predovšetkým na vizualizáciu, vytváranie, správu a analýzu priestorových dát. Asi najviac využívanou aplikáciou je ArcMap. Slúži hlavne na analýzu priestorových dát, editáciu a tvorbu mapových kompozícií. Umožňuje pracovať s údajmi v dvoch módoch a to geoúdajový (geographic data view) a schematický (page layout view). Súčasťou ArcMapu je ArcToolbox, ktorý je sadou všetkých nástrojov použiteľných k práci s dátami a k ich analýzám. Ďalšou významnou aplikáciou v rámci ArcGIS je ArcCatalog. Je využívaný hlavne na správu priestorových kolekcii údajov. ArcGIS bol využitý takmer pri všetkých hlavných častiach práce. Pri spracovávaní práce bola použitá verzia 9.2.

2.2.2 ArcView GIS

ArcView GIS vyvinula takisto firma ESRI. Patrí medzi desktopové GIS programy. Pracuje s priestorovými dátami, tak rastrovými ako i vektorovými, a umožňuje ich zobrazenie, analýzu ako i ďalšie možnosti. Vyznačuje sa jednoduchým rozhraním, ktorému pochopí aj bežný používateľ, a nielen špecialista v danom odbore. Veľmi ľahko sa dá jeho funkčnosť rozšíriť, a to pomocou extenzií. Ja som použil napr. extenzie AVSWATX (použitý na modelovanie vodnej erózie) a SHALSTAB (použitý na modelovanie plytkých zosuvov pôdy). Medzi ďalšie významné extenzie, bez ktorých sa prakticky neobídeme, patria ArcView Spatial analyst, ArcView 3D Analyst a ďalšie. ArcView bol použitý vo verzii 3.2.

2.2.3 NCSS

NCSS je štatistický softvér vyvinutý rovnomenou firmou. Bol využitý na K-means zhlukovú analýzu pri morfometrickej analýze reliéfu vo verzii 2004.

3 Fyzicko - Geografická charakteristika územia

Oblasť Muránskej planiny (ďalej MP) patrí medzi najpestrejšie a najzachovalejšie oblasti Slovenska. Zo skalnatej krasovej planiny vystupujú monumentálne úbočia Fabovej hole, husté lesné porasty kontrastujú s kvetnatými lúkami. Vyskytuje sa tu približne tretina druhov vyšších rastlín Slovenska, počínajúc termofilnými a končiac alpskými druhmi, mnohými endemitmi a reliktmami. Toto územie už oddávna priťahuje pozornosť mnohých prírodovedcov ale aj bežných turistov. MP bola od roku 1976 chránenou krajinnou

oblasťou. V roku 1997 bola prehodnotená jej kategorizácia a bola zaradená medzi národné parky.

3.1 Geografická poloha a rozloha

MP sa nachádza v južnej časti stredného Slovenska. Z administratívneho hľadiska patrí do Banskobystrického kraja, a v jeho rámci zasahuje do troch okresov – Brezno, Revúca a Rimavská Sobota. Rozprestiera sa v katastroch nasledujúcich obcí: Tisovec, Muráň, Muránska Huta, Muránska Lehota, Muránska Zdychava, Muránska Dlhá Lúka, Revúčka, Červená Skala (Šumiac), Vaľkovňa (Zlatno), Pohorelská Maša, Pohorelá, Heľpa, Závadka nad Hronom, Polomka, Bacúch a Pohronská Polhora.

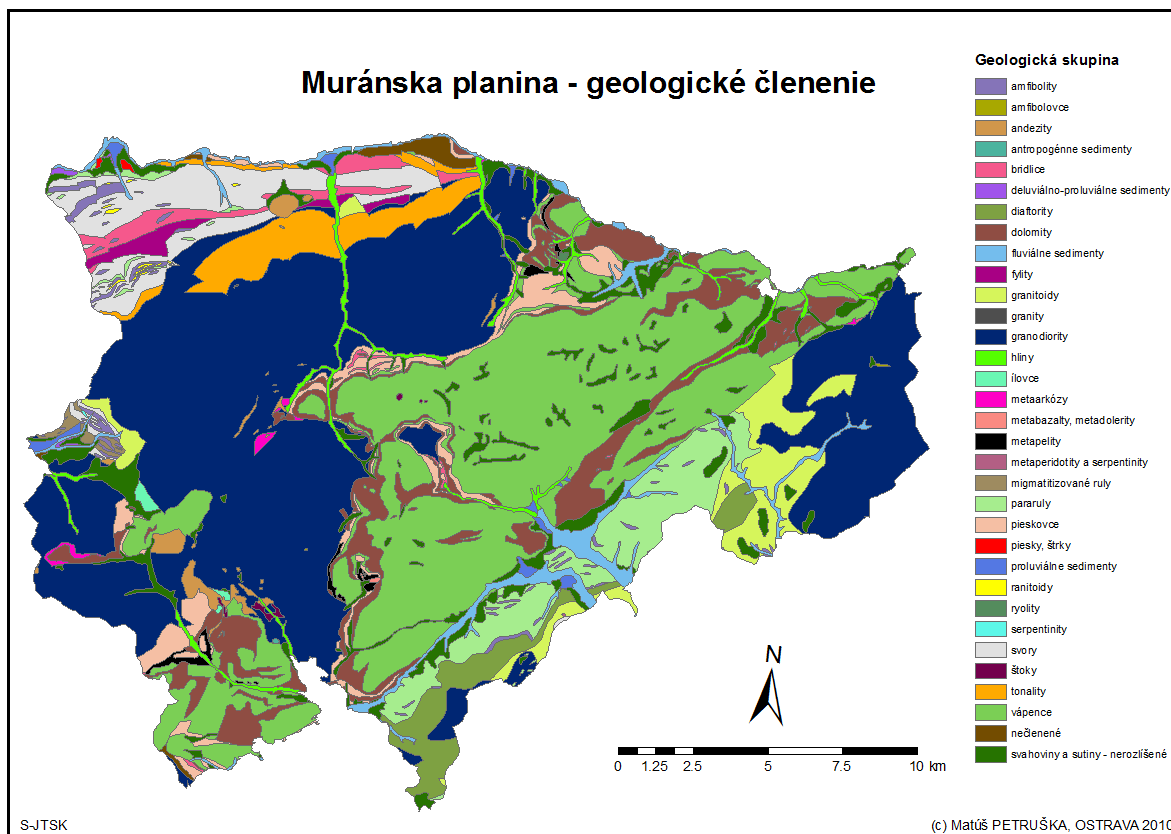
Jej hranice sú prirodzeného charakteru: na severe je to rieka Hron (oddeľuje ju od ochranného pásma Národného parku Nízke Tatry), na severozápade je to dolina rieky Furmanec a od obce Tisovca smerom na SV tzv. muránska zlomová línia (tvorí rozhranie medzi Spišsko-gemerským krasom a Stolickými vrchmi). Rozloha vlastného územia NP predstavuje 0,40 % z rozlohy Slovenskej republiky, čo sa rovná 20 318 ha. Rozloha ochranného pásma je 21 698 ha. Celková rozloha teda predstavuje 42 016 ha. Pri porovnaní s hranicami bývalej CHKO zistíme, že došlo k zmenšeniu predovšetkým ochranného pásma (Vološčuk, 1991).

3.2 Geologická charakteristika

Z hľadiska geológie v MP dominujú chladné hornatiny a vysoké plošiny s karbonatickým a kryštalickým podložím, tiež studené podhôrne vysočiny so silikátovým substrátom (Petrušková, 2006).

Čo sa týka horninového zloženia MP, tak tie sa výrazne odlišujú od jeho okolia. Možno ich zaradiť do nasledujúcich celkov:

- tret'ohorné sedimenty
- tret'ohorné vulkanity
- štvrtohorné usadeniny.
- kryštalicke bridlice
- granity a ich variety
- druhohorné masy prevažne karbonatických hornín



Obrázok 2 - Geologické členenie Muránska planiny

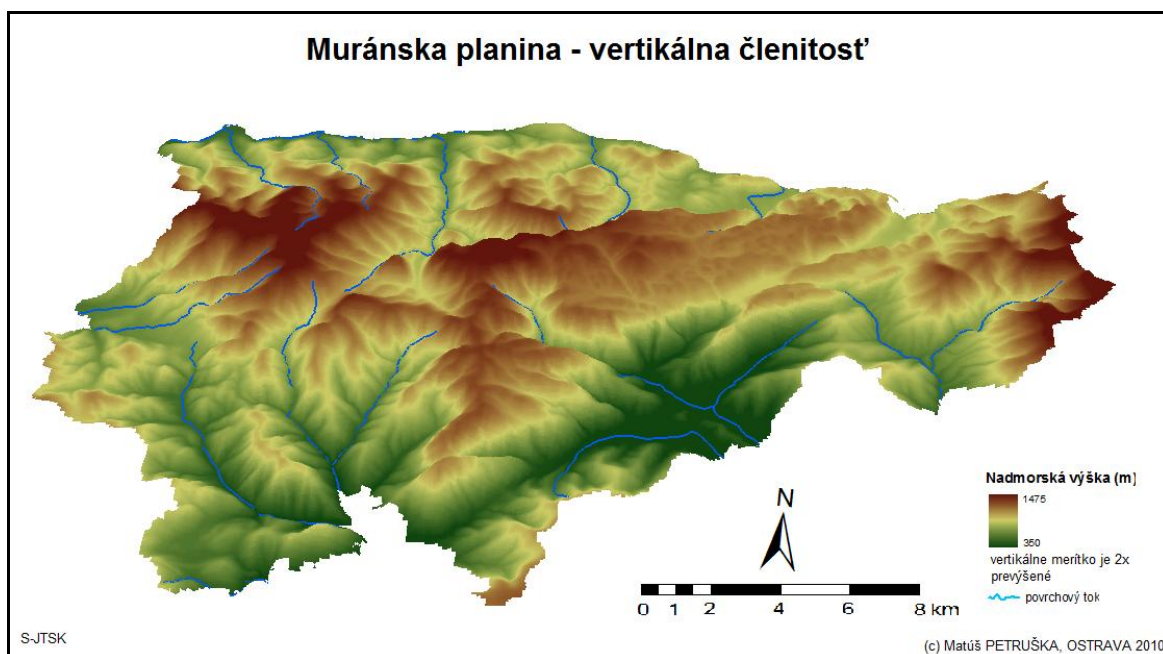
V rámci územia MP sa celkovo vyskytuje až desať rôznych typov vápencov a dolomitov. Z nich predstavujú dominantný typ svetlé stredotriasové vápence wettersteinského typu, ktoré majú mocnosť až 400 m. Tento vápenec dobre podlieha procesu krasovatenia. Dolomity a vápence v podloží vystupujú na povrch iba v odkryvoch, hlavne na okrajových úbočiach planiny a v zárezoch dolín. Geologická stavba NP podmieňuje rozdielnosť a mnohotvárnosť morfológických črt tohto kraja, ktoré nadobúdajú osobité až abnormálne formy. (Bako, 1975; Klinec, Mittner, 1991 in Petrušková 2006). Jej bližšie priestorové rozčlenenie možno pozorovať na obrázku 2.

3.3 Geomorfologická charakteristika

MP sa geomorfologicky v rámci Alpsko-himalájskej sústavy začleňuje do podsústavy Karpaty. Bližšie delenie ju zaraďuje do provincie Západné Karpaty, subprovincie Vnútorne Západné Karpaty. Vlastné územie NP sa rozprestiera v dvoch

geomorfologických oblastiach. Severná časť zasahuje do Fatransko-tatranskej oblasti (Mazúr, Lukniš, 2002). Zvyšok územia je situovaný v západnej časti oblasti Slovenského rudohoria (ktoré je najrozsiahlejšie pohorie Slovenskej republiky). Patria doňho celky Spišsko-gemerský kras, Stolické vrchy, Horehronské podolie a Veporské vrchy a podcelky Muránska planina, Revúcka vrchovina, Hel'pianske Podolie, Fabova hoľa, Balocké vrchy, Tŕstie, Klenovské vrchy a Stolica (Petrušková, 2006).

V reliéfe sa výrazne prejavuje členitosť (obr.3). Vo všeobecnosti prevláda hlavne horský a čiastočne podhorský charakter územia. Výrazná pestrosť povrchových javov spôsobuje, že na jej území nedominuje jeden ústredný chrbát. Vysoké kopce sú nepravidelne rozmiestnené po celom území (Mittner, 1991).



Obrázok 3 - Vertikálna členitosť Muránskej planiny

Prírodné prostredie sa prejavuje celkovou zachovalosťou, navyše je obohatené množstvom špecifických krasových útvarov. Podoba, ktorú možno pozorovať v súčasnosti, bola budovaná hlavne v období štvrtohôr (kvartér). Vtedajšie mnohonásobné klimatické a podnebné zmeny ovplyvnili povrchový profil a jeho modelovanie.

Hlavným územno-tvorným procesom MP bolo alpínske vrásnenie a následné nasunutie príkrovu. Výraznejšie stopy spôsobila taktiež aj vulkanická činnosť v období neogénu. Dominantná časť je tvorená z rozsiahleho doskovitého telesa - tzv. muránskeho príkrovu. Ten predstavuje zvyšok gemeriodného príkrovu, ktorý sa zachoval v podobe

synklinória, vklesnutého medzi pás kryštalinika pozdĺž muránskej zlomovej línie (Bako, 1975). Tento príkrov sa nachádza v alochtónnej pozícii na kryštaliniku Kráľovej hole (1946 m n. m.) a jeho autochtónnej obalovej sérii. Túto pozíciu nadobudol koncom druhohôr nasunutím pomocou horotvorných pohybov.

Územie NP možno rozdeliť podľa typu reliéfu na dve základné časti - krasový, vyskytujúci sa hlavne na triasových vápencoch (Tisovský kras), a nekrasový, ktorý možno pozorovať na granitoidoch, kryštallických bridliciach, a neogénnych sedimentoch (Fabova hoľa – 1439 m n. m.).

Čo sa týka krasových javov, územie NP obsahuje primárne povrchové aj podzemné javy. Medzi povrchové sa zaraďujú hlavne krasové jamy (závrty), ponory, škrapy, vyvieračky a krasové jazierka. Naopak, medzi podzemné sa zaraďujú ponorné vodné toky a podzemné dutiny (jaskyne, chodby). Možno pozorovať aj sekundárne krasové javy. To sú hlavne usadeniny vyzrážaného vápenca, vyskytujúce sa na povrchu i v podzemných dutinách (Klinec, 1991).

Hlavnými krasovými oblasťami sú dva celky – Tisovský kras a Muránska krasová planina. Muránska krasová planina predstavuje zachovanú vápencovú dosku s trojuholníkovým tvarom. V jej rámci tvorí najrozsiahlejší jaskynný systém Bobačka, s celkovou dĺžkou vyše 3 km. Z priepastí je najhlbšou Michňová (105 m). Celkovo vápencový masív Muránskej planiny dosahuje hrúbku až 500 m. Jeho hranice tvoria strmé skalné steny a veže (Kámen, 1986; Klinec, 1991).

Na Muránsku krasovú planinu v jej južnej časti nadväzuje Tisovský kras. Je charakteristický výrazne členitým krasovým reliéfom, v ktorom dominujú hlboké doliny a zložité jaskynné systémy (Suché doly, Martinova dolina) s výraznými zvyškami pôvodného masívu vápencovej dosky – Hradová (887 m n. m.), Kášter (908 m n. m.) (Petrušková, 2006). V Suchých doloch je vysoká hustota výskytu krasových jam. Na 1 km² ich pripadá až tridsať (Belanová, 2005).

MP leží v nadmorskej výške v rozmedzí zhruba 400 – 1500 m n.m. Najvyšší bod NP je Fabova hoľa s nadmorskou výškou 1439 m n. m. V ochrannom pásme je najvyšším bodom Stolica (1476 m n. m.). Naopak najnižšou časťou je údolie Muránky (400 m n. m.). Samotné územie planiny sa nachádza vo výške 1000 – 1200 m.

Z morfológického hľadiska sa rozdeľuje na štyri časti:

- krasové územie Suché doly s Hradovou a Kášter, ktorý povrchovo hlboko rozčlenila riečna erózia
- typická krasová planina medzi Hrdzavou dolinou a Červenou Skalou, patria sem napr. Veľká lúka, Ploštiny, Šiance...
- východná časť - v nej prevládajú priečne autochtónne doliny, ktoré rozčleňujú územie na vyvýšeniny s podzemným krasom – Homoľa (1083 m n. m.), Dlhý vrch (1095 m n. m.), Nad Roháčom (1071 m n. m.)
- oblasť medzi Hrdzavou dolinou a Tisovcom (Voniaca) - starý planačný povrch je rozčlenený suchými riečnymi dolinami (Petrušková, 2006)

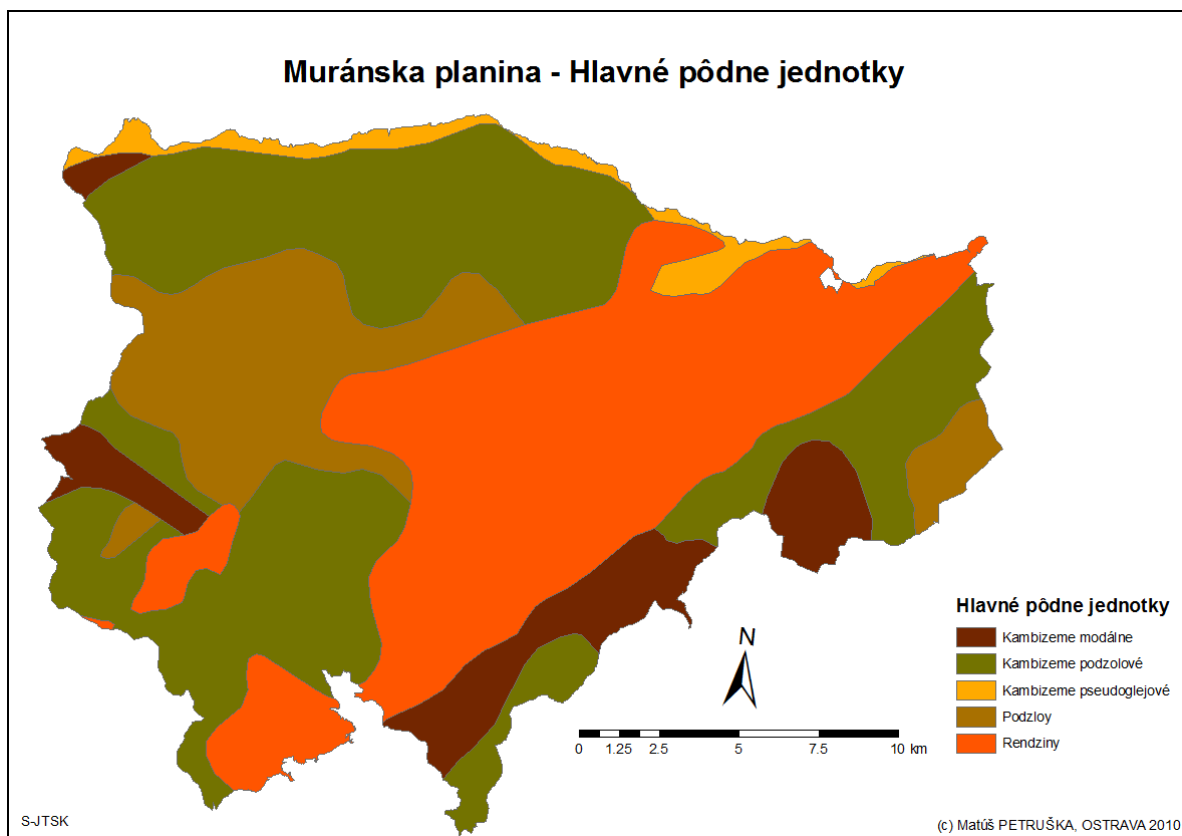
3.4 Pedologická charakteristika

Pôda predstavuje jeden z najdôležitejších prvkov krajinej štruktúry. Tvorí totiž akýsi spojovací most medzi biotickou a abiotickou časťou krajiny. So stúpajúcim vplyvom človeka na životné prostredie sa význam pôdy stáva primárnym pri ochrane prírodného bohatstva. Rozloženie hlavných pôdných jednotiek vidno na obrázku 4.

Na dominantnej časti územia prevládajú lesné pôdy. Na miestnu jedinečnosť pôdy vplývajú hlavne tieto prvky:

- výskyt silikátových a karbonátových hornín
- diferenciálnosť klimatických podmienok a nadmorskej výšky
- výskyt ostrovov sopečných hornín v kryštalinickom pásme
- rozdielnosť tvaru a typológie reliéfu

Najväčší podiel z lesných pôd pripadá na pôdy z hornín kryštalinika a paleozoických sedimentov. Patria sem hlavne kyslé až veľmi kyslé typy pôd. Nachádzajú sa v nadmorskej výške 500 – 1476 m, teda takmer na celom jej území. Z pedologického hľadiska by sme ich mohli priradiť k podzolom a kambizemiam. Pri preštudovaní pôdneho pokryvu možno nájsť znaky, ktoré umožňujú modelovať vývoj krajiny tak v mladších štvrtohorách (holocén), ako aj v ľadových a medzľadových obdobiach mladších štvrtohôr (pleistocén), ba pravdepodobne i z konca mladších treťohôr (pliocén) (Linkeš, Šály, 1991).



Obrázok 4 - Hlavné pôdne jednotky na území Muránskej planiny

K najdôležitejším pôdotvorným činiteľom patria materská hornina, organizmy a klimatologické činitele, ako žiarivá energia, vzduch a voda. Pri pôde a jej tvorbe zohráva dôležitú rolu aj vek územia a reliéf. Zaujímavé však je, že ani taký významný faktor, akým je človek, sa neprejavil na zmene pôd a jej charakteristických črt, ktoré boli dané dlhodobým vývojom.

V oblasti najvyšších nadmorských výšok prevládajú podzoly kambizemné a podzoly modálne a humusovo-železité. Dopĺňajú ich sprievodné pôdne jednotky – organozemné podzoly. Tieto pôdy obsahujú ľahšie zvetraliny kyslých hornín (Petrušková, 2006). Kambizeme podzolové možno pozorovať v severnej, južnej a východnej časti MP. V značnej miere sú zastúpené aj kambizemné podzoli. Ich vznik sa viaže na zvetraliny kyslých hornín. V povodí najväčšej rieky – Hron prevládajú hlavne pseudoglejové kyslé kambizeme.

Na území možno pozorovať aj prevažne nasýtené kambizeme (kambizeme modálne a nasýtené). Ich výskyt je ale minimálny. Spolu s nimi sa vyskytujú aj rendziny. Ich vznik sa viaže na zvetrávanie silikátovo-karbonátových hornín (flyšu) a vápencov.

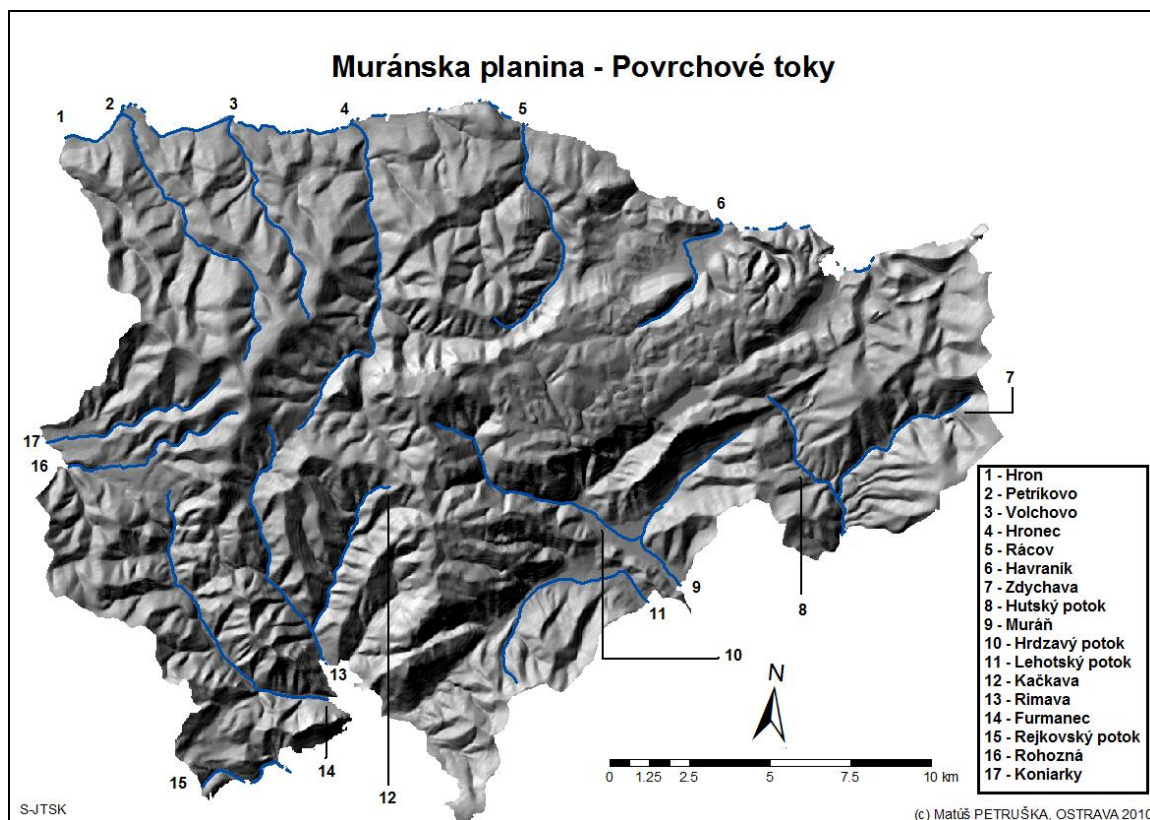
Na území Muránskej planiny a Tisovského krasu - hlavne v ich vápencovej časti, sa nachádzajú pôdy krasových planín, medzi ktoré patria:

- rendziny kambizemné a kambizeme rendzinové. Ich sprievodnými pôdnymi jednotkami sú hlavne rendziny litozemné a sutinové. Sú zložené zo zvetralín pevných karbonátových hornín.
- rendziny modálne, litozemné a rubrifikované. Miestami sa vyskytujú aj litozeme modálne karbonátové. Ich vznik sa viaže na vápencové podložie, miestami s plytkými substrátmi typu terrae calcis.
- v značne menšej miere sa v okolí mesta Tisovec vyskytujú aj rendziny a kambizeme rendzinové, subdominantne litozeme modálne karbonátové a sporadicky rendziny sutinové. Tieto pôdy obsahujú aj zvetrané súčasti. Tie pochádzajú z pevných karbonátových hornín.
- malý výskyt v okolí potokov zaznamenávajú pôdy alúvií a ostatné pôdy (napr. antropické) (Šály, Šurina, 2002).

V porovnaní s lesnými pôdami tie, ktoré sa využívajú pre potreby poľnohospodárstva, zaberajú podstatne menšiu časť územia. V percentuálnom vyjadrení to predstavuje 1 % pre mozaikovitú poľnohospodársku krajinu a 6 % pre lúky a pasienky [35]. Tieto pôdy obsahujú veľký podiel štrku, majú kyslú reakciu, obsahujú málo živín, ich humusový horizont je nízky a svahy majú veľký sklon. Preto možno pôdy Muránskej planiny i jej ochranného pásma označiť ako extrémne. V značnej miere sú situované v prostredí klímy, ktorá je nevhodná na pestovanie plodín (nadmorská výška nad 800 m n.m.). Na pestovanie plodín sa výraznejšie využívajú len oblasti v hornej časti dolín Rimavy a Kačkavy a ich prítokov, v malej miere tiež v sedle Zbojská, pretože tu sa nachádzajú úrodnejšie pôdy. V porovnaní so samotným NP, v ochrannom pásme MP prevládajú z hľadiska zastúpenia biotopov lúky a pasienky. (Linkeš, Šály, 1991).

3.5 Hydrologická a hydrogeologická charakteristika

Z hydrologického hľadiska sa oblasť MP priraduje k povodiam riek Hron a Slaná. Voda z celého územia sa odvádza do Čierneho mora. Pre najväčšiu rieku – Hron, je charakteristický stredohorský typ toku, s najvodnatejšími mesiacmi apríl a máj. Ďalším významným tokom je aj Rimava, ktorá odvodňuje územie v strednej a južnej časti, zatiaľ čo Hron na severe.



Obrázok 5 - Riečna sieť

Obe odvodňovacie bázy sú výškovo významne odlišné – rozdiel predstavuje 300 výškových metrov. Podobne aj na Rimave a na ďalších významných tokoch v oblasti je najvodnatejším mesiacom apríl. Vysvetlenie možno nájsť v topení snehu a následne jeho odtoku v týchto povrchových tokoch. Mapa najvýznamnejších tokov je na obrázku 5. Medzi charakteristické rysy patrí aj ich nevyrovnaný spád. Veľmi významná časť (92 %) uzavretej hydrogeologickej štruktúry MP je tvorená vápencami a dolomitmi. Pri porovnaní povrchového a podzemného odtoku prevažuje odtok podzemných vôd. Tento fakt možno pozorovať hlavne na komplexoch karbonatických hornín vlastného územia MP, pre ktorú je charakteristický puklinovo-krasový charakter. Po obvode NP možno pozorovať výrazné málo zvodnené až nepriepustné vrstvy tvorené horninami kryštalinika (Petrušková, 2006). Tieto vrstvy tvoria akúsi nepriepustnú hranicu proti krasovým vodám. Doska príkrovu MP je v dolnej časti zložená z nepriepustných vrstiev. Naopak, vrchné časti planiny sa prejavujú veľmi dobrým zvodnením. Tvorí ich rozsiahle karbonátové pásmo s hrúbkou 500 – 1500 m. MP predstavuje významnú zásobáreň podzemných vôd. Na jej území sa vyskytuje 18 významnejších krasových prameňov. Pre pramene vodných tokov sú charakteristické formy vyvieraciek na styku s kryštalinikom. Približne z 90 % je toto

územie zalesnené, s prevládajúcimi ihličnatými porastmi. Využívajú sa napr. pramene Machnatá a Bobačka (Petrušková, 2006).

Oblasť Tisovského krasu tvoria vápence a dolomity. Tento hydrogeologický celok leží na málo priepustných až nepriepustných vrstvách zložených z rôznych druhov vápencov. Štruktúra je odvodňovaná prameňmi Teplica a Periodická vyvieračka do Furmaneckej doliny. (Kullman, 1991)

3.6 Klimatologická charakteristika

Oblasť MP sa z klimatologického hľadiska začleňuje do mierneho podnebného pásma. Vysoké percento (80%) z celkovej plochy zaberá chladná oblasť. Je zastúpená hlavne vo vysokých polohách, a je pre ňu charakteristické aj veľké množstvo zrážok. Naopak, pre oblasti s nižšou nadmorskou výškou je charakteristická mierne chladná oblasť. Južná časť územia zasahuje do mierne teplej a veľmi vlhkej podnebnéj oblasti (Konček, 1980). Meteorologické prvky sú obecné sformované od pestrých geologických a geomorfologických pomerov danej oblasti. V najvyšších častiach územia (Kľak, Fabova hoľa) nie je výnimkou, keď sa tam letné obdobie nevyskytne. V dôsledku zvlnených častí planiny si niektoré oblasti tvoria vlastnú charakteristickú klímu. Nie je výnimkou ani to, že v niektorých, často výrazných kotlinách, je teplota výrazne nižšia, ako v jej okolitých častiach. Je pre ne charakteristický aj neskorší nástup denných teplôt oproti ich strmým svahom. To sa prejavuje hlavne v strmých, hlbokých a svojim dnom úzkych dolinách (Petrušková, 2006).

Na vrcholových hrebeňoch sa snehová pokrývka udržuje nielen v zimnom období, ale často sa vyskytne už začiatkom jesene a niekedy sa udrží aj do mája. Mocnosť snehovej pokrývky je však v porovnaní s ostatnými oblasťami a pohoriami na Slovensku pomerne nízka, a dosahuje len 30 až 50 cm. Suma celkového úhrnu slnečného svitu dosahuje hodnoty 1500 až 1650 hodín, s najvyššími hodnotami v letných mesiacoch – hlavne júl, a naopak s najnižšími v zime – december. V priebehu roka sa vyskytujú aj hmly. Počet dní s týmto úkazom dosahuje v priemere číslo 80. Zaujímavým meteorologickým úkazom, ktorý sa vyskytuje aj tu, je inverzia teploty – teda, že teplota vo vysokých polohách je vyššia ako v nižších polohách. Pre jej výskyt je charakteristické letné obdobie. Možno pozorovať aj rozdiely vo vzdušnej vlhkosti, ktoré sú najvýraznejšie pri porovnaní vrcholov hôr a najnižších častí dolín. V najvyšších polohách sú hodnoty

najvyššie v teplom letnom období, naopak v najnižších častiach dolín je to charakteristické pre nižšie zimné teploty.

Možno tu pozorovať aj menej výrazný rast priemerného úhrnu zrážok závislý na stúpajúcej nadmorskej výške. Maximálne hodnoty sa viažu na letné a jesenné obdobie. Najnižšie priemerné mesačné úhrny zrážok dosahujú hodnotu 30 - 40 mm (január, február), naopak najvyššie 220 – 270 mm (jún, júl). Zrážkový tieň Horehronia predstavuje pre sever územia MP dôležitý meteorologický faktor. Výskyt oblačnosti pôsobí na nepravidelné rozloženie zrážok a to spôsobuje striedanie suchých a vlhkých období. Cez rok sa v priemere vyskytne 40 jasných a 130 zamračených dní. (Petrušková, 2006).

Nad územím prevládajú východné a západné vetry. Ich rýchlosť ako aj smer je rozdielny pri porovnaní samotnej planiny a dolín. Najvyššiu rýchlosť možno pozorovať v hrebeňových pásmach, ako i v niektorých sedlách. Veterná činnosť je ovplyvnená aj mierou znečistenia ovzdušia, ktorú zhoršuje priemysel, situovaný v niektorých blízkych lokalitách (Šťastný, 1991).

3.7 Flóra a Fauna

Rastlinstvo a živočístvo patria k najdôležitejším súčastiam krajiny. Ako uvádza Futák (1966), oblasť MP je z hľadiska fytoGRAFICKÉHO zadelená do oblasti západokarpatskej flóry, do obvodu predkarpatskej flóry a do okresu Muránska planina.

Rastlinstvo na území Muránskej planiny patrí k tým najzaujímavejším, aké možno na Slovensku v rámci orografických celkov pozorovať (Vološčuk, Pelikán, 1991). Pri porovnaní s okolitými oblasťami sa zvyrazňuje jej jedinečnosť. Na celom území Slovenskej republiky sa nachádza 1150 taxónov vyšších rastlín, pričom v MP sa nachádza viac ako tretina z tohto počtu. Tak z hľadiska diverzity ako i druhového bohatstva flóry patrí k najcennejším lokalitám nášho štátu. Jej hodnota je navýšená aj o fakt, že poskytuje názorný príklad pre priebeh prírodného vývoja v tejto časti Západných Karpát bez výraznejšieho vplyvu človeka a jeho činnosti (Petrušková, 2006).

K vegetačným jednotkám, z ktorých je MP a jeho územie zložené, patria: lužné lesy podhorské a horské, lipovo-javorové lesy, dubovo-hrabové lesy karpatské, bukové lesy vápnomilné, bukové lesy kvetnaté, bukové kyslomilné lesy horské, dubové xerotermofilné lesy submediteránne a skalné stepi, jedľové a jedľovo-smrekové lesy, smrekovo-

borovicové lesy, smrekové lesy čučoriedkové, smrekové lesy vysokobylinné a lesy s výskytom tisu obyčajného (Berta et al., 1986).

Pod stav súčasnej vegetácie sa podpísali hlavne kalamity, veterné polomy, zaburinenie, ako i ochudobnenie genofondu drevín v dôsledku vyhľadávania kvalitnejších jedincov, vznikom homogenizovaných semimonokultúrnych porastov, takisto všeobecným zostepňovaním vegetácie a prenikaním cudzích prvkov a nových druhov do lesných komplexov a na pasienkové plochy. Výrazný vplyv na zmenu pôvodného zloženia bylinného krytu majú aj povrchové úpravy, rekultivácie a dlhodobé zalesňovanie rúbanísk a kalamitných plôch (Petrušková, 2006).

Geografická poloha vytvára svojské podmienky z hľadiska ekológie pre živočíšstvo. Zoogeograficky sa nachádza v južnej časti Karpát, vyskytujúcich sa na slovenskom území, v blízkosti hranice panónskej oblasti. To je jedným z dôvodov, prečo oplýva veľkým bohatstvom západokarpatských boreálnych, horských (montánnych) a podhorských (submontánnych) zoocenóz. Vyskytujú sa tu aj niektoré xerothermné a panónske faunistické prvky. Významnou zložkou živočíšstva sú aj endemitné druhy, ktoré sa tu vyskytujú vo veľkej miere. Takisto sa tu nachádzajú aj reliktné formy živočíchov.

Z celkového počtu živočíšstva je jej podstatná časť viazaná na lesné prostredie. Väčšina územia sa priradzuje k horskej zóne eurosibírskej podoblasti. V menšej miere sa uplatňujú aj prvky typické pre zónu listnatého lesa. Možno tu pozorovať cenné spoločenstvá živočíchov, ktoré sú typické pre krasové planiny Západných Karpát (Čaputa, 1991).

Spoločenstvo živočíchov chráneného územia Muránska planina predstavuje vzácny celok. V záujme nás všetkých by malo byť, aby sa toto bohatstvo podarilo zachovať v plnej kráse a diverzite (Čaputa, Darola, Gočál, 1991).

3.8 Aktuálny stav využitia územia podľa CORINE Land Cover

Aktuálny stav využitia územia možno pozorovať na obrázku 6. Vysvetlenie jednotlivých kódov podľa DATABÁZE LAND COVER ČESKÉ REPUBLIKY:

1.1.2 Nesúvislá mestská zástavba – územie pokryté z podstatnej časti zástavbou. Stavby sa striedajú s vegetáciou (záhrady, parky) a holou pôdou, ktoré nevytvárajú veľké súvislé celky a zaberajú celkovo 20-40% plochy tejto kategórie.

1.2.1. Priemyselné a obchodné areály – prevažujú dláždené povrchy – betón, asfalt a iné medzi nebytovými budovami a zariadeniami s prípadnou nepatrnou plochou vegetácie. Patria sem aj vojenské objekty a veľké komplexy poľnohospodárskych budov a zariadení.

1.4.2. Športové a rekreačné plochy – športové zariadenia (štadióny, golfové ihriská, dostihové dráhy atď.), samostatné rekreačné parky mimo zástavbu, táboriská.

2.1.1. Nezavlažovaná orná pôda – všetky polia, na ktorých sa pestujú obilniny, strukoviny, okopaniny, priemyselné plodiny a plodiny na kŕmenie, i keď sú občas zavlažované. Trieda zahŕňa tiež plošné pestovanie zeleniny, kvetín (i v skleníku), liečivých rastlín, sadeníc stromov a tiež úhory.

2.3.1. Lúky a pastviny – trávnaté plochy kosené alebo využívané na pasenie dobytku a to tak trvalé, ako aj dočasné a umelé.

2.4.2. Zmesi polí, lúk a trvalých plodín – plochy záhradných osád pri mestách a malé plochy u dedín.

2.4.3. Poľnohospodárske oblasti s prirodzenou vegetáciou - oblasti s obrábanou pôdou s roztrúsenými plochami prirodzenej vegetácie.

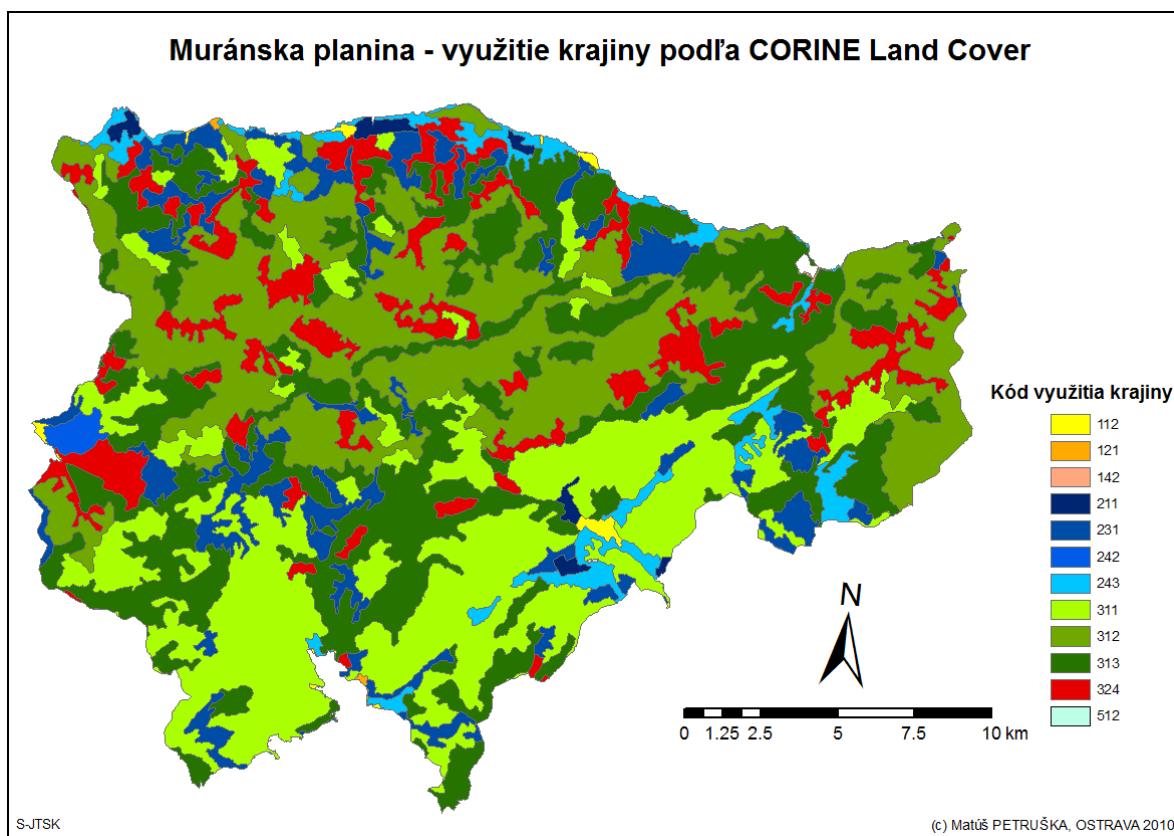
3.1.1. Listnaté lesy – porasty listnatého lesa s možným podrastom.

3.1.2. Ihličnaté lesy – porasty ihličnatého lesa s možným podrastom.

3.1.3. Zmiešané lesy – porasty s približne rovnakým zastúpením ihličnatých a listnatých stromov s možným podrastom.

3.2.4. Nízky porast v lese – oblasti pokryté krovinami alebo bylinnou vegetáciou s rozptýlenými stromami. Patria sem aj rôzne vývojové fázy lesa.

5.1.2 Vodné plochy – prirodzené alebo umelé vodné plochy (rybníky, jazera, nádrže).



Obrázok 6 - Využitie krajiny podľa CORINE Land Cover

3.9 Ochrana územia

MP je evidovaná v Národnom zozname navrhovaných území európskeho významu. V ňom má identifikačný kód SKUEV0225. Takisto je navrhovaným územím európskeho významu v rámci súvislej európskej sústavy chránených území po názvom NATURA 2000. Do tohto návrhu ale nespádajú územia, ktoré predstavujú zastavané územia obcí a pozemky, ktoré sú poľnohospodársky využívané. Preto platí v území štatút tzv. predbežnej ochrany, ktorý je platný pokiaľ neprebehne konečný výber území z národného zoznamu. Účelom tejto predbežnej ochrany je zabezpečenie, aby bolo územie národného parku v nezhoršenom stave, kým dôjde k definitívnemu rozhodnutiu Európskej komisie o zaradení či nezaradení územia do sústavy NATURA 2000 (Petrušková, 2006).

Na jej území je evidovaných až 30 európsky významných biotopov. Tento počet je najvyšší zo všetkých navrhovaných území na Slovensku. Podstatná časť územia je aj súčasťou navrhovaného chráneného vtáčieho územia Muránska planina a Stolické vrchy. Ochranné pásmo patrí v rámci zonácie podľa stupňa ochrany prírody do 2. a vlastné

územie národného parku do 3. stupňa ochrany. Na jeho území sa však nachádza aj viacero území, ako chránené areály, prírodné rezervácie a prírodné pamiatky, kde platí 4. a 5. - teda najvyšší stupeň ochrany. V rámci nich sú zakázané mnohé činnosti, ako napr. ťažba drevnej hmoty, vykonávanie geologických prác, zber nerastov a skamenelín (4. stupeň), zásahy do lesného porastu a poškodenie vegetačného a pôdneho krytu, stavba lesnej cesty, vybudovanie poľovníckeho alebo rybárskeho revíru, rušenie pokoja a ticha, chytanie a lov živočíchov (5. stupeň).

4 Prírodné riziká a ich analýza

Prírodné riziko je termín, s ktorým sa ľudstvo stretáva čoraz častejšie. Predstavuje neblahé účinky prírodného procesu. Medzi extrémne prírodné procesy, ktoré ohrozujú životy a majetky ľudí, možno zaradiť zemetrasenia, tornáda, povodne, požiare, zosuvy pôd, eróziu a ďalšie. Môžeme spomenúť aj pojem prírodné ohrozenie, ktorý vyjadruje samotný proces. Prírodné riziko je teda dôsledkom prírodného ohrozenia. Treba však spomenúť, že tieto extrémne prírodné procesy predstavujú ohrozenie len pre ľudí a nie pre prírodu, keďže ich výskyt je pre ňu prirodzený [31].

4.1 Vodná erózia

Vodná erózia predstavuje v našom prostredí hlavnú príčinu straty pôdy a takisto zle vplýva na jej úrodnosť. Je spôsobená hlavne dažďovými zrážkami.

Erózia (z lat. erosus – rozhlodaný) zahŕňa procesy, ktoré na seba postupne nadväzujú – rozrušovanie, transport a ukladanie (depozícia) horninových a pôdnych častíc. Exogénne činitele sa málokedy vyskytujú jednotlivo ale ich pôsobenie je často kombinované medzi sebou. Podľa toho, ktorý činiteľ prevláda, môžeme rozlíšiť viacero druhov, ako napr. eróziu vodnú (spôsobenú dažďovými zrážkami, morským príbojom - abrázia), prúdením vo vodných tokoch, veternou, ľadovcovou, snehovou prípadne inou.

Vodná erózia sa intenzívne prejavuje v tropických oblastiach s vysokými zrážkami, kde ľudia rýchlo vyrubujú vegetáciu tropických pralesov. Tým dochádza k obnažovaniu rozsiahlych plôch tropických hlbokých pôd. Erózia pôdy sa stala pre životné prostredie

globálnou katastrofou. Dnes už vieme, že pre budúce generácie to bude predstavovať významný problém. Problému straty pôdy sa ľudstvo dlho nevenovalo. V druhej polovici 19. storočia sa naplno prejavila v oblasti východného Ruska s čiernou pôdou vodná a veterná erózia. Práve tieto udalosti katastrofálnych následkov boli spúšťacím mechanizmom pre spustenie výskumu o príčinách erózie pôd vôbec a v konečnom dôsledku aj modernej pedológie.

V dnešných postupoch a metódach pre hodnotenie erózie a protieróznych opatrení sa využili skúsenosti s katastrofálnou vodnou eróziou, ktorá od 30. rokov 20. storočia prebieha v severnej Amerike hlavne v préríjnych štátoch. V histórii ľudstva môžeme nájsť veľa príkladov, kde človek svojou činnosťou znížil ochrannú funkciu vegetácie pre pôdy a to až tak že mala katastrofálne následky. Môže sa spomenúť napr. vyrubovanie stromov pre stavbu lodí na dalmatskom pobreží za čias Rímskej ríše. Na veľkých oblastiach bola pôda úplne odnesená a v súčasnej dobe sú na miestach pôvodných lesov len holé vápencové skaly. Ako ďalší príklad slúžia Portugalci, ktorý začiatkom 16. storočia priviezli na Ostrov sv. Heleny kozy. Tie za 200 rokov zničili vegetáciu. Následne vodné toky odniesli úrodnú pôdu do mora a zostali tam len holé skaly.

Vodná erózia, ktorá je spôsobená zrážkami a odtokom zrážkovej vody sa z pohľadu pôsobenia na povrch terénu rozdeľuje na nasledujúce typy :

- *Plošná erózia* : vyznačuje sa odnosom pôdných častíc na celej ploche. Väčšie častice zostávajú na erodovaných plochách. Menšie sú selektívne odnášané a obohacujú plochy, na ktorých deponované. Plošná erózia je za každých podmienok nepriaznivá, pretože pri nej dochádza k odnosu humusu, humusových látok, živín a mikroorganizmov.
- *Ryhová a rýžková erózia* : prejavuje sa vytváraním brázdičiek, v ktorých sa sústreďuje odtekajúca voda. Postupom času sa tieto brázdy rozširujú a prehlbujú do hĺbky a šírky aj niekoľkých centimetrov. Tieto brázdy predstavujú začiatok sústreďeného povrchového odtoku. Pri spájaní konvergentných rýh sa vytvára základ pre vznik stržovej erózie.
- *Stržová erózia* : predstavuje intenzívny odnos zeminy za pomoci odtoku povrchovej vody. Pri tomto procese vznikajú hlboké erózne zárezy a výmoli,

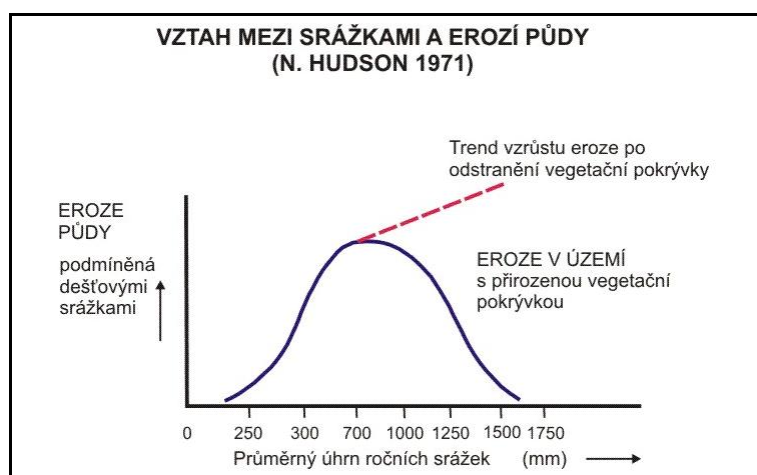
ktorých rozmery (hĺbka aj šírka) dosahuje niekoľko metrov, čo už znamená katastrofálne štádium erózie.

Erózne faktory

Intenzita erózie je ovplyvňovaná nasledujúcimi faktormi:

- Klíma
- Zloženie pôdy
- Zloženie podložných hornín
- Morfológia terénu
- Charakter rastlinného pokryvu

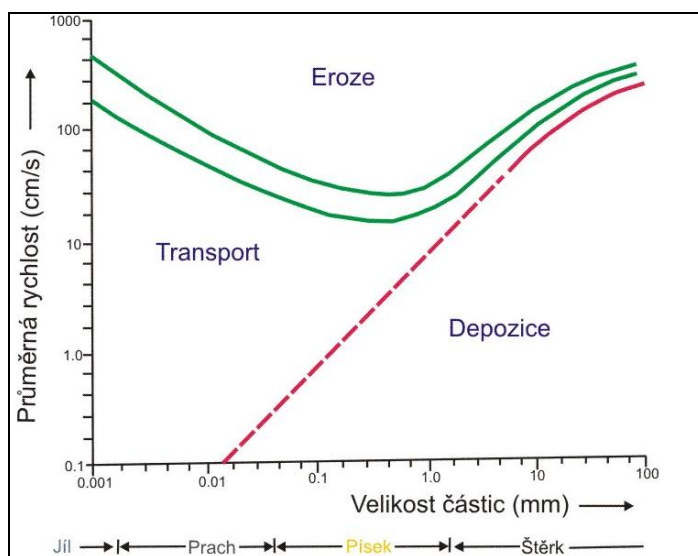
Pri kombinácii viacerých faktorov môže proces erózie zosilňovať ale aj znižovať svoju intenzitu. Napr. väčšie množstvo zrážok zvyšuje činnosť povrchovej vody, ale na druhej strane prispieva k rastu vegetácie, ktorá erózii zabraňuje. Vzťah medzi eróziou a zrážkami s vplyvom na vegetáciu je na obrázku 7.



Obrázok 7 - Vzťah medzi eróziou pôdy a zrážkami. Zdroj: Raclavský a kol. (2005)

Obecne sa dá v horách očakávať vyššie nebezpečenstvo erózie kvôli vyšším sklonom svahov. Ale spomínané zrážky, ktoré sa v našich podmienkach v horách hojne vyskytujú a tým pádom pozitívne ovplyvňujú zalesnenosť územia, vplývajú na fakt, že majú skutočnú eróziu menšiu, ako v oblastiach s poľnohospodárskymi plodinami v nižších nadmorských výškach. Mäkké a rozpadavé horniny spôsobujú vyššiu eróziu ale na druhej strane takéto podložie umožňuje relatívne rýchlu tvorbu novej pôdy. Preto bývajú dôsledky erózie niekedy horšie na odolných a tvrdých horninách. Dôležitým faktorom pri erózii pôdy je aj veľkosť častíc a ich podiel v nej (Raclavský, 2005). Na obrázku 8 je zakreslený

základný vzťah pre eróziu, transport a depozíciu častíc v závislosti na ich veľkosti podľa Hjulströma.



Obrázok 8 - Vzťah medzi transportom a depozíciou sedimentov pri erózii. Zdroj: [38]

4.2 Zosuvy pôdy

Svahy tvoria najpodstatnejšiu a zároveň najviac dynamickú časť reliéfu zemskej pevniny. Z povrchu súše zaberajú približne 90%, z čoho viac ako polovicu tvoria svahy so sklonom menším ako 10 stupňov.

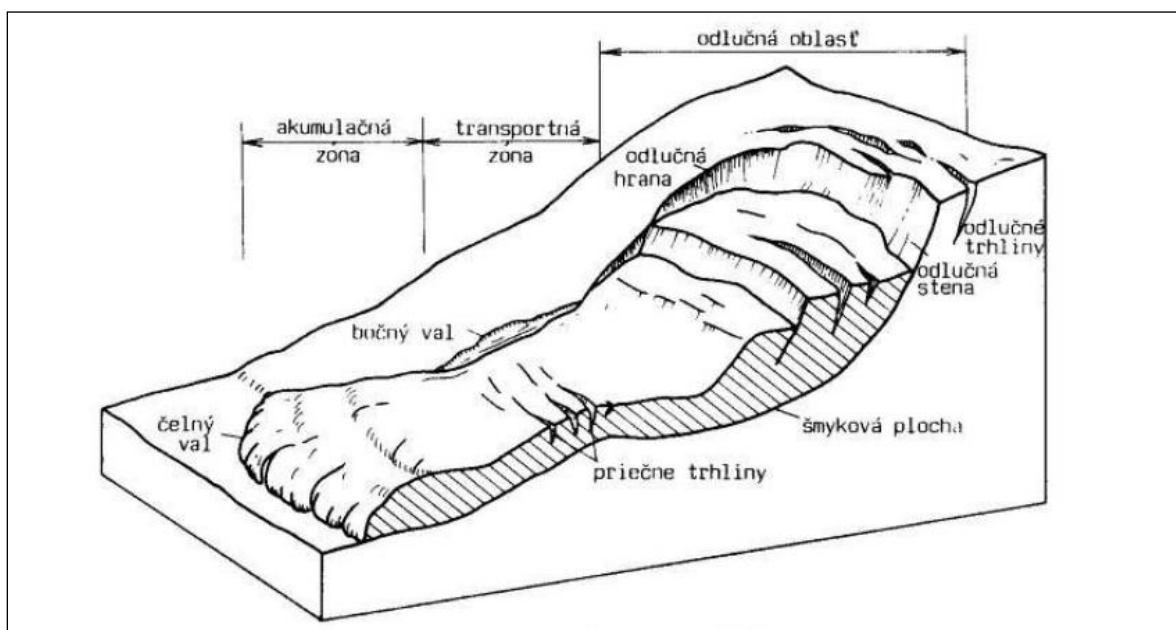
Vznik svahov možno zhrnúť do troch základných procesov:

- Endogénne pochody (napr. tektonicky) – zlomové svahy
- Erózne denudačné pochody – erózia vodných tokov
- Akumulačné pochody (napr. gravitačná a fluviálna akumulácia) – akumulačné svahy

Vývoj svahov tvorí komplex pochodov. Avšak hlavným dôvodom je premiestňovanie materiálu po svahu v smere tiaže, pričom cieľom je dosiahnutie rovnovážneho stavu. Druh pohybu závisí od viacerých faktorov, medzi ktoré patrí aj sklon svahu. Na svahoch s miernym sklonom sa prejavujú pôsobením väčšinou pomalé svahové procesy ako mrazové vzdúvanie a kĺzanie, soliflukcia atď. Na strmších svahoch so

sklonom väčším ako 15 stupňov sú to hlavne procesy ako rúcanie, bahenné prúdy, lavíny a zosuvy.

Práve zosuvy pôdy a ich hodnotenie tvoria jednu z hlavných častí tejto diplomovej práce. Zosuvy pôdy postihujú predovšetkým sypké nesúdržné zeminy alebo mäkké ílovité a plastické horniny na svahoch. Miesta s opakujúcimi sa zosuvmi sa nazývajú zosuvné alebo zväžne územia. Pohyb hmoty prebieha rôznou rýchlosťou, často sa opakuje a trvá dlhšiu dobu, než sa usadí. Častým “spúšťačom” zosuvov sú silné dažde. Tie spôsobujú zväčšenie objemu a hmotnosti zvetralín. V našich krajinách k zosuvom dochádza hlavne na jar. Príčinou je rozmŕzanie pôdy a topenie snehu, keď sú zväžne terény rozmáčané. K zosúvaniu dochádza i na brehoch veľkých riek, jazernom aj morskom pobreží. Okrem prírodných svahov sú zosuvy pôdy charakteristické aj pre umelé zárezy vzniknuté stavbou ciest, železníc a prieplovov (Chábera. 1996). Základné časti svahu pri zasiahnutí zosuvmi sú popísané na obrázku 9.



Obrázok 9 - Časti svahu pri pôsobení zosuvu. Zdroj: [33]

Podľa pohybu a tvaru sa zosuvy delia na tri základné druhy:

- Plošné
- Kryhové
- Prúdové

4.2.1 Plošné zosuvy

Plošné zosuvy sú charakteristické často veľkou rozlohou ale malou mocnosťou. Vznikajú procesom, pri ktorom presakujúca voda z prepúšťajúcich svahových uloženín vyplavuje ílovité častice a tie následne usadzuje v hlbších polohách na styku s nepriepustným podložím. Takto rozmáčané zvetraliny pôsobia na vzniknutú plastickú ílovitú hmotu v podloží svojou váhou, ktorá zadržiava vodu. Týmto procesom dochádza jednak k zmenšeniu vnútorného trenia a jednak k porušeniu súdržnosti svahových uloženín s podložím. V horných častiach sa vytvárajú otvorené trhliny a svahové uloženiny sa dostávajú do pohybu. Tento pohyb prebieha pozdĺž rovinných šmykových plôch smerom k úpätiu svahu. Takto pohybujúca sa hmota vytvára kĺzavý splaz s nepravidelne rozčleneným povrchom (Chábera, 1996).

4.2.2 Kryhové zosuvy

Kryhové zosuvy sú charakteristické vznikom na strmších svahoch, ktoré sú pokryté mocnejšou vrstvou svahových hlien alebo podobnými, málo spevnenými horninami. Po procese premočenia vodou alebo porušení svahu sa rozdelia svahové uloženiny gravitačnými trhlinami na jednotlivé kryhy. Tie sú charakteristické stupňovitým poklesom za súčasného pohybu vpred pozdĺž sklonených a mierne konkávných prehnutých rotačných kĺzavých plôch. Kryhy sa pri zosúvaní nakláňajú proti smeru pohybu a na ich zadných častiach vznikajú uzavreté znížneniny. Medzi naklonenými kryhami sa nachádzajú trhliny, z ktorých môže vystupovať voda alebo roztopená zemina. V niektorých prípadoch vyššie kry vytláčajú pred seba nižšie kry. Tie sa následne vztyčujú a vytvárajú úzke chrbáty (Chábera, 1996).

4.2.3 Prúdové zosuvy

Prúdové zosuvy sa vyznačujú veľkou odlúčenou oblasťou v hornej časti svahu. Z nej vytekajú zosúvajúce sa roztopené hmoty v podobe úzkeho prúdu a pri úpäti svahu vytvárajú zosuvný jazyk. Vo svojej hornej časti sú často charakteristické ako kryhové zosuvy. Kryhy sa ale postupne zosúvajú do úzkeho a väčšinou silno skloneného erózneho zárezu. Do tohto zárezu steká tavná aj dažďová voda, následkom čoho sa zeminy roztápajú. Z toho vzniká kašovitá hmota pohybujúca sa v podobe bahenného prúdu (Chábera, 1996).

4.3 Analýza prírodných rizík

Na analýzu prírodných rizík bolo využité modelovanie a analýzy vybraných morfometrických parametrov a indexov reliéfu v GIS. Modelovanie vo svojom princípe znamená skúmanie objektov pomocou iných, spravidla umele konštruovaných objektov, v ktorých sa vyjadrujú, charakterizujú a definujú iba vybrané vlastnosti, stránky a vzťahy originálneho objektu. Je to reprodukcia charakteristík určitého objektu na inom objekte, špeciálne vytvorenom na ich štúdium. Tento druhý objekt sa nazýva modelom. Medzi oblasti, kde sa dá modelovanie využiť, patrí aj skúmanie prírodných rizík.

Pre potreby tejto práce bolo modelovanie využité v oblasti vodnej erózie a plytkých zosuvov pôdy. Na hodnotenie oboch rizík boli použité po dve metódy. Modeli SWAT a USPED na vodnú eróziu a analýzy vybraných morfometrických parametrov a indexov reliéfu (ďalej len morfometrická analýza) spoločne s modelom SHALSTAB v rámci hodnotenia plytkých zosuvov. Asi hlavným dôvodom, prečo boli použité dva modeli pre každý jav je ich rozdielny princíp, na základe ktorého pracujú a tým pádom aj možnosť porovnania výsledkov medzi sebou. Rozdielov je viacero, preto teraz spomeniem len jeden, ktorý sa týka priestorového spracovania oblasti. Základnou priestorovou jednotkou analýz modelom SWAT a morfometrickej analýzy je dielčie povodie, tzv. subpovodie. Jedná sa teda o semidistribované riešenie. Modely USPED a SHALSTAB počítajú hodnoty zvlášť pre bunku gridu, jedná sa teda o plne distribuované modely. Sú však medzi nimi aj ďalšie rozdiely. Preto každý model a metódu bližšie opisujem v nasledujúcich kapitolách.

5 SWAT

Model SWAT predstavuje fyzikálne založený dynamický erózný model. Pri výpočte zohľadňuje fyzikálne zákony, ktoré sa týkajú vzniku a vytvárania odtoku povrchovej i podpovrchovej vody, ako aj procesy, ktoré vznikajú a prebiehajú počas uvoľňovania, transportu a ukladania pôdných častíc. Na jednej strane je síce náročnejší na vstupné dáta, naproti tomu by nám mal na konci poskytnúť presnejšie výsledky, ktoré viac zodpovedajú skutočnosti. Samotný názov SWAT (Soil and Water Assessment Tool) sa môže preložiť ako „Nástroj pre ohodnocovanie pôdy a vodných zdrojov“. Vyvinul ho kolektív Dr. Jeffa Arnolda z USA. „SWAT je komplexný kontinuálny dynamický výpočtový model, ktorý sa dá požiť k celkovému hodnoteniu krajinného potenciálu vo vzťahu k odtokovým pomerom, pôdnej erózii, transportu sedimentov, či iným geoekologickým charakteristikám“ (Richnavský, 2008). Model SWAT sa dá využiť pri hodnotení vplyvu zásahov ľudí do ekosystému ako i ich dlhodobých následkov na vodu a pôdu. Model dokáže simulovať viacero procesov, pričom všetky sú viazané na zrážkovo-odtokový cyklus. Výsledok, ktorý nám tento model poskytuje, teda priemernú (dennú, mesačnú a ročnú) stratu pôdy spôsobenú vodnou eróziou, sa ale počíta inak ako v prípade modelu USPED. Tam sa táto hodnota počítala zvlášť pre každý pixel, pričom SWAT si automaticky vytvorí dielčie plochy povodí, ktoré sa nazývajú subpovodia, a stratu pôdy počíta pre každé takéto vzniknuté subpovodie. Pri modeli SWAT treba spomenúť aj skratku HRU (Hydrologic Response Units). Predstavuje tzv. jednotky hydrologickej odozvy, ktoré sa vyznačujú homogénnymi pôdnymi a vegetačnými charakteristikami. Každá z nich má vplyv na výsledný pohyb vody v povodí a teda aj na výsledok celého procesu.

Model má teda široké uplatnenie v oblasti hydrológie ako i využitia pôdy. Pre potreby mojej práce mi poslúžil ako hlavný proces simulácia procesu vodnej erózie na území Muránskej planiny. Ako základ tohto procesu slúži empirická rovnica MUSLE, ktorá vznikla modifikáciou rovnice USLE.

Model SWAT môže prebiehať vo viacerých programových prostrediach, aktuálna verzia ArcSWAT už beží pod ArcGISom. Pre potreby mojej práce som využil verziu

programu ArcView 3.2 s extenziou AVSWAT 2000. Pred začatím samotnej práce bolo ešte nutné doinštalovať extenziu Spatial Analyst.

5.1 Vstupné dáta

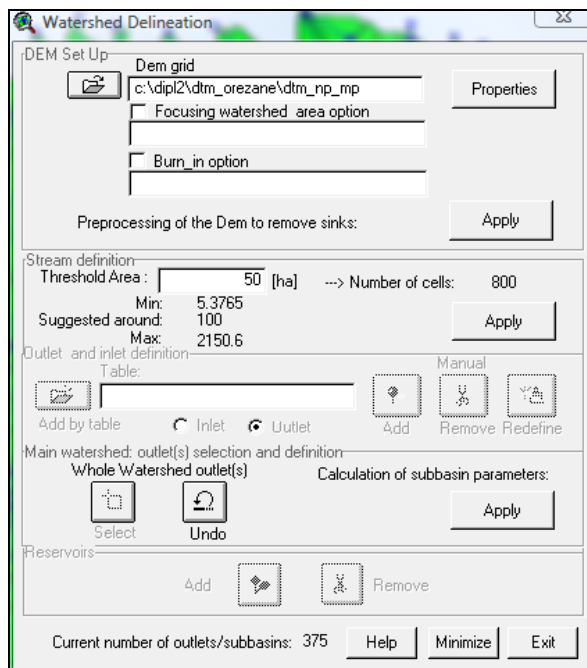
Model SWAT je pomerne náročný na vstupné dáta. Pri modelovaní procesu vodnej erózie som potreboval k výpočtu tieto dáta, ktoré predstavujú pre úspešný priebeh simulácie potrebné minimum.

- DMT (digitálny model terénu)
- Údaje o dlhodobých zrážkach a teplotách
- CORINE Landcover (údaje o krajinnom pokryve)
- Údaje o pôdnych pomeroch a vlastnostiach daných pôd
- Vrstvu riečnej siete spolu s jej priebehom

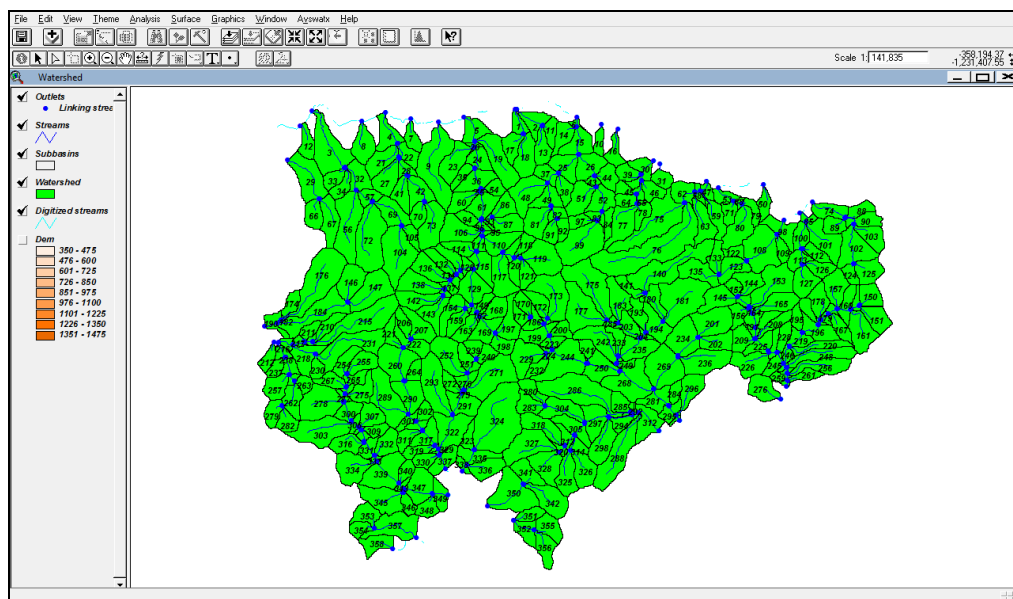
Veľkou výhodou programu je, že sa chová intuitívne. Jednotlivé položky menu sa postupne aktivujú po vykonaní predchádzajúcich krokov.

5.2 Schematizácia povodí

Pred začatím samotnej simulácie si musíme vstupné dáta pripraviť. Prvým krokom po načítaní rastra DMT, je načítanie vrstvy riečnej siete pomocou *Burn in option*, ktorá spresní výpočet odstraňovania bezodtokových depresíí. Nasleduje nastavenie projekcie cez *Predefined projection Geographic (Decimal Degrees)*. Tým dôjde k verifikácii DMT, čím sa krok za krokom vymedzí povodie, odstránia sa prípadné bezodtokové oblasti a vygeneruje sa smer a akumulácia odtoku. Ďalším krokom je nastavenie minimálnej veľkosti samostatného subpovodia, v mojom prípade 50 ha, a to pomocou *Trashold Area*. K tomuto číslu som dospel po jednoduchom výpočte, pri ktorom som spočítal všetky toky na spracovávanom území a následne som to vydělil plochou povodia v km². Výsledné číslo som previedol na hektáre. Nasledovalo nastavenie odtokových bodov, ktorým boli napokon vymedzené jednotlivé subpovodia a riečne úseky, všetko vo výstupnom vektorovom formáte. Potom už nasledoval samotný výpočet parametrov pre všetky subpovodia a riečne úseky. Celý proces (obr.10) rozdelil moje záujmové územie na 358 subpovodí (obr. 11).



Obrázok 10 - Dialógové okno funkcie Automatic Delineation.



Obrázok 11 – Schematizované územie Muránskej planiny

5.3 Definícia využitia krajiny a pôdy

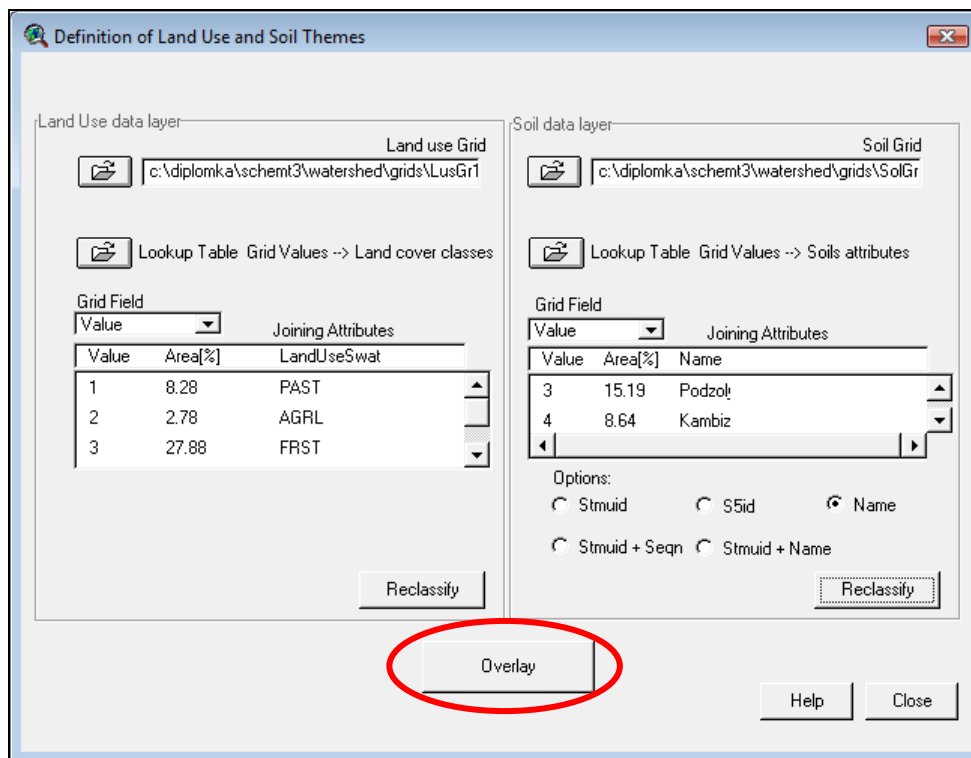
Vstupnou vrstvou pre zadefinovanie využitia krajiny bol CORINE Landcover. V nej je využitie krajiny označené štvorpísmenovým kódom. Na základe kategórií (podľa CODE_00) som ju vložil do modelu. Nasledujúcim krokom bola reklasifikácia jednotlivých kategórií CORINE Land cover na kategórie využitia krajiny definované v databáze modelu (tab. 1).

Tabuľka 1 - Využitie krajiny podľa databázy SWAT

CODE_00	Názov	Využitie pôdy SWAT
112	Nesúvislá mestská zástavba	URML
121	Priemyslové a obchodné areály	UIDU
142	Športové a rekreačné plochy	URMD
211	Nezavlažovaná orná pôda	AGRC
231	Luky a pastviny	PAST
242	Zmes poly luk a trvalých plodín	AGRC
243	Poľnohospodárske oblasti s prirodzenou vegetáciou	AGRL
311	Listnaté lesy	FRSD
312	Ihličnaté lesy	FRSE
313	Zmiešané lesy	FRST
324	Nízky porast v lese	RNGB
512	Vodné plochy	WATR

Po úspešnom procese reklasifikácie prišlo na rad zadefinovanie pôd. Prvým krokom bolo načítanie samotnej vrstvy pôdných typov do modelu. Keďže ale pôdne jednotky ponúkané modelom neboli pre moje územie vhodné, musel som si zadefinovať vlastné a to pomocou funkcie *Edit Swat database*. U každého typu pôdy som nadefinoval nasledujúce charakteristiky: hydrologická skupina, textúra, hĺbka (mm), objemová hmotnosť vody (% váhy vody), dostupná vodná kapacita (mm), nasýtená hydraulická vodivosť (mm), obsah humusu (% váhy pôdy), podiel ílovitých častíc (% váhy pôdy), podiel prachových častíc (% váhy pôdy), podiel piesčitých častíc (% váhy pôdy), miera odrazivosti pôdy (%), a faktor erodovateľnosti pôdy. Vyplnené charakteristiky možno pozorovať v tabuľke 8 (príloha).

Podobne ako v prípade krajinej pokrývky, aj v prípade pôdnej pokrývky je potrebné, aby prebehol proces reklasifikácie. Po tomto procese sa vytvorí model sekundárnej dátovej vrstvy krajinného krytu a pôd. Následne sa aktivuje tlačítko *Overlay* (červená elipsa, obr. 12), ktoré predstavuje posledný krok pri definovaní krajinného a pôdneho pokryvu. Model týmto posledným krokom z dvoch reklasifikovaných gridov vytvorí jednu výstupnú vrstvu kombináciou krajinného a pôdneho pokryvu (Šír, 2008).



Obrázok 12 - Dialogové okno funkcie Land Use and Soil definition.

Následne sa sprístupní možnosť zobraziť správu o syntéze týchto dvoch rastrov, a to v menu *Avswat* pomocou funkcie *Reports*. V tejto správe sú vyjadrené hodnoty celkových zastúpení ako i zastúpení v jednotlivých povodiach v percentách pre obidva druhy krytov.

5.4 Distribúcia HRU – jednotiek hydrologickej odozvy

Ako som už napísal v úvode kapitoly venovanej modelu SWAT, HRU predstavuje jednotky hydrologickej odozvy, ktoré sa vyznačujú homogénnymi pôdnymi a vegetačnými charakteristikami. Pri možnosti definovania rozloženia HRU sú v modeli na výber dve možnosti. Buď sa definuje jediná HRU pre všetky subpovodia (v tomto prípade sa berie do úvahy dominantná HRU), alebo sa HRU zadáva mnohonásobne s definíciou minimálneho percentuálneho podielu jednotlivých kategórií využitia a typu pôdy. Ja som použil jednoduchšiu možnosť použitia dominantnej HRU pre všetky subpovodia a to pomocou funkcie *Dominant Land Use and Soil*.

5.5 Definícia klimatických dát

Predchádzajúci krok definície HRU nám sprístupní okno samotného modelu SWAT. V ňom vyberieme funkciu *Weather Stations* z ponuky *Input*. Tu môže používateľ

zadat' množstvo údajov týkajúcich sa rozloženie meteorologických prvkov z časového i priestorového hľadiska. Sem patria napr. zrážky, teplota, rýchlosť vetra, relatívna vlhkosť atď. Je tu ale aj možnosť zadefinovať len umiestnenie meteorologických staníc a model si k nim priradí meteoprvky z vlastnej databázy. Predtým ich však treba do modelu zadať (obr.13).

User Weather Stations

User Defined Weather Station:

- Sample
- Telgart**
- wea43
- wea62

Weather Station Name:

RAIN_YRS: [Years] WELEV: [m]

WLATITUDE: [Degrees] XPR:

WLONGITUDE: [Degrees] YPR:

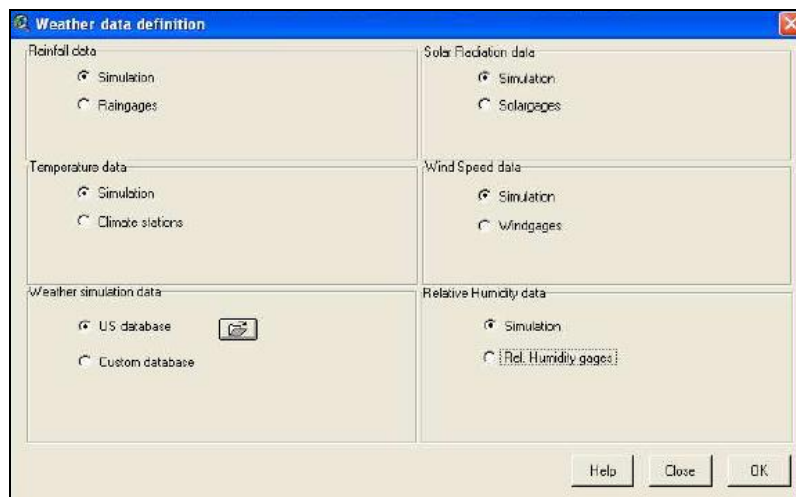
Monthly parameters:

<input type="radio"/> TMPMX	<input type="radio"/> PR_W1	Jan.	<input type="text" value="34.60"/>	Jul.	<input type="text" value="90.80"/>
<input type="radio"/> TMPMN	<input type="radio"/> PR_W2	Feb.	<input type="text" value="38.80"/>	Aug.	<input type="text" value="93.50"/>
<input type="radio"/> TMPSTDMX	<input type="radio"/> PCPD	Mar.	<input type="text" value="49.00"/>	Sep.	<input type="text" value="73.40"/>
<input type="radio"/> TMPSTDMN	<input type="radio"/> RAINHHMX	Apr.	<input type="text" value="67.60"/>	Oct.	<input type="text" value="55.40"/>
<input checked="" type="radio"/> PCPMM	<input type="radio"/> SOLARAV	May	<input type="text" value="109.30"/>	Nov.	<input type="text" value="58.40"/>
<input type="radio"/> PCPSTD	<input type="radio"/> DEWPPT	Jun.	<input type="text" value="113.60"/>	Dec.	<input type="text" value="43.40"/>
<input type="radio"/> PCPSKW	<input type="radio"/> WNDAY	[mm]			

Buttons: Delete, Load [.wgn], Add New [Modify], Add New, Help, Exit

Obrázok 13 - Okno vkladania klimatických staníc a meteoprvkov

Užívateľ má možnosť výberu z dvoch možností a to podľa množstva vstupných dát. Ak sú tieto dáta kompletne, môže ich do modelu vložiť manuálne vo formáte klasickej databázy (*.dbf). Ak dáta kompletne nie sú, druhou možnosťou je nechať prebehnúť SWAT Sharpleyův a Williamsův (1990) generátor počasia, model WXGEN. Mojim zámerom bolo použiť vlastné dáta zo staníc SHMÚ. K dispozícii som však mal iba údaje o teplotách a zrážkach, teda zvyšné klimatologické charakteristiky som nechal vygenerovať pomocou generátora WXGEN (obr.14).



Obrázok 14 - Okno WXGEN generátora

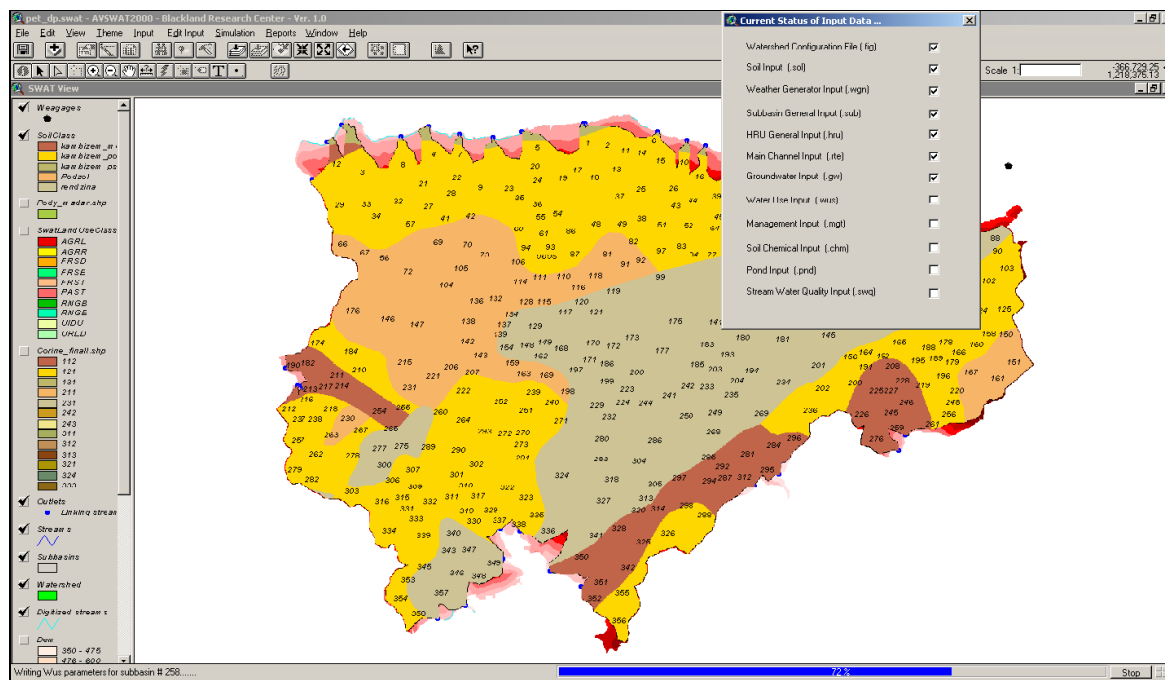
5.6 Generovanie vstupov

Po definícii klimatických dát a pred samotným spustením modelu SWAT prichádza na rad proces generovania jednotlivých vstupov, medzi ktoré patria:

- Dáta o pôdach
- Dáta o podnebí
- Dáta o subpovodiach
- Dáta o konfigurácii povodí
- Dáta o jednotkách hydrologickej odozvy (HRU)
- Dáta o kvalite tečúcej vody
- Dáta o vodných nádržiach
- Dáta o využití vôd
- Dáta o sieti povrchového odtoku dáta o podzemných vodách
- Dáta o managmente povodí
- Dáta o chemickosti vôd
- Dáta o podzemných vodách

V procese generovania vstupov je podstatou automatické zatriedenie informácií z databázy, ich priradenie buď k jednotlivým subpovodiam alebo k jednotkám HRU

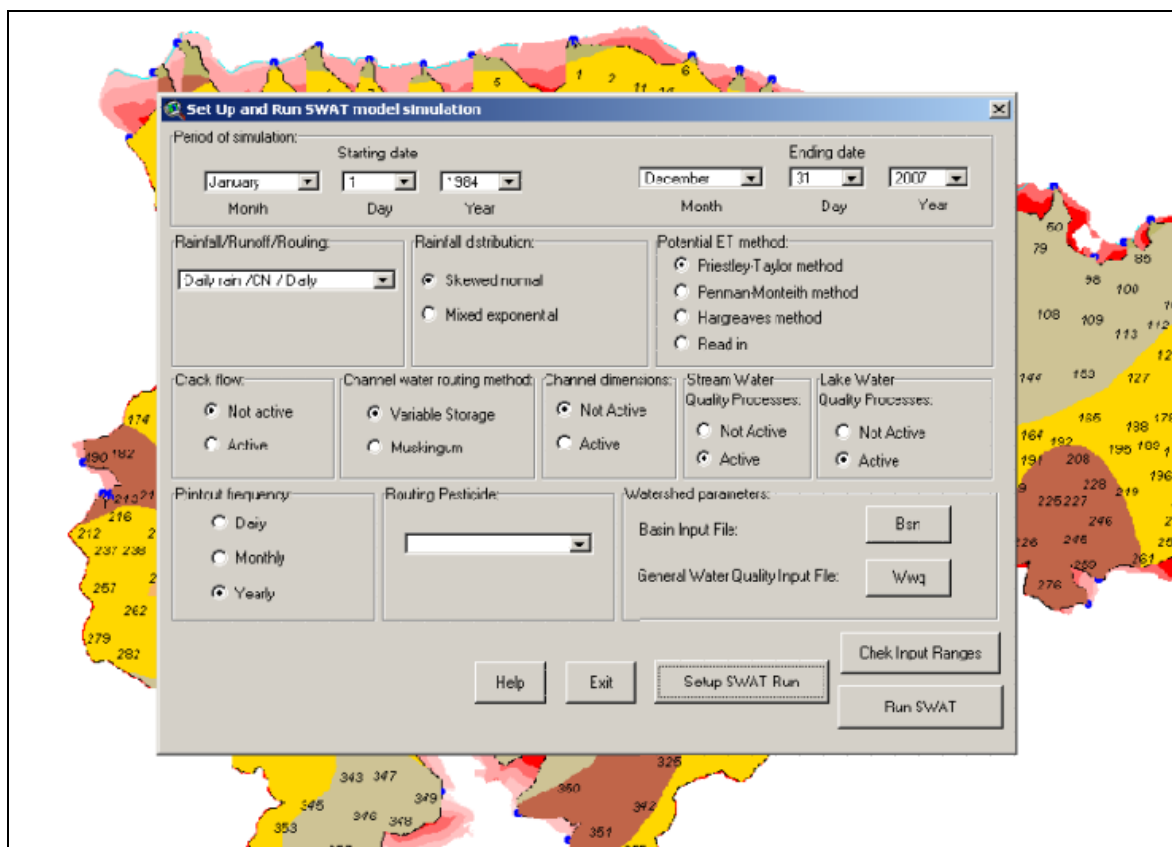
a vygenerovanie vstupov pred samotnou simuláciou (Šír, 2008). Opäť je na výber z dvoch možností, a to možnosť vygenerovania všetkých vstupov naraz alebo vygenerovať a vypísať jednotlivé vstupy jeden za druhým. Ja som použil možnosť vypísať všetky vstupy naraz a to cez menu *Input* a funkciu *Write All* (obr. 15).



Obrázok 15 - Proces generovania vstupov

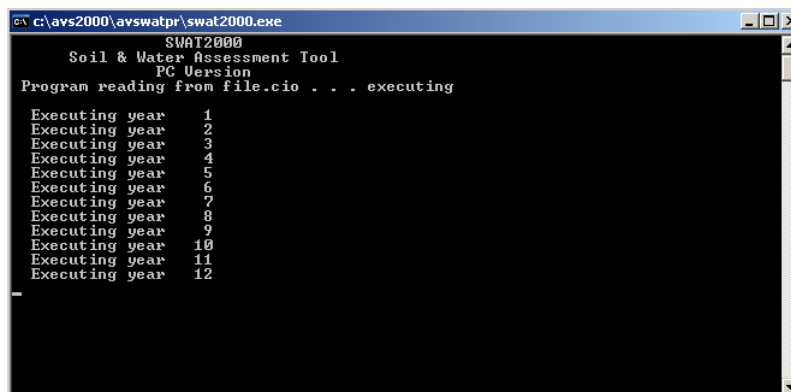
5.7 Spustenie simulácie SWAT

Po vygenerovaní potrebných vstupov sa sprístupní možnosť spustenia samotnej simulácie SWAT. Nachádza sa v menu *Simulation / Run SWAT*. Pri nej je možnosť nastaviť jej parametre. Všetky som ponechal na prednastavených možnostiach s výnimkou obdobia simulácie, ktorej dĺžku som nastavil na 24 rokov a to od 1. Januára 1984 do 31. Decembra 2004, s časovým rozlíšením výstupov jeden rok (obr. 16). Pre potvrdenie všetkých nastavení je potrebné stlačiť možnosť *Setup SWAT run*, ktorú vidieť na obrázku 16. Tým si model pripraví dáta o podnebí a skontroluje, či sa zhodujú so zvolenou periódou simulácie (Di Luzio, Srinivasan, Arnold, Nietsch, 2002). Po prebehnutí tohto procesu bolo sprístupnená možnosť spustenie samotnej simulácie, a to pomocou tlačítka *Run SWAT*.



Obrázok 16 - Nastavenie a spustenie simulácie SWAT

Po jeho stlačení začala prebiehať výpočet pre jednotlivé roky (obr. 17).



Obrázok 17 - Priebeh simulácie SWAT

5.8 Interpretácia výsledkov modelu SWAT

Výstup simulácie tvoria tri *.dbf tabuľky, ktoré obsahujú početné výstupné parametre pre jednotlivé jednotky HRU (tabuľka sbs.dbf), subpovodia (tabuľka bsb.dbf) a segmenty siete povrchového odtoku, ktoré sa týkajú príslušného subpovodia. Medzi najdôležitejšie výstupné parametre, okrem priemerných hodnôt odosu sedimentov patria

napr. aj hodnoty priemerného prítoku a odtoku záverových profilov, koncentrácií niektorých vybraných prvkov (dusík, fosfor) a množstvo ďalších údajov. Ako som už spomínal, najdôležitejšie údaje pre potreby tejto práce boli tie o priemerných hodnotách odnosu sedimentov pre jednotlivé subpovodia, ktoré sa nachádzali v stĺpci SYLD. Tieto hodnoty boli vypočítané pre ročné obdobie. Pripojením údajov k atribútovej tabuľke vygenerovaných subpovodí som dostal grafické zobrazenie výsledku simulácie a to v podobe kartogramu (obr.18). Na mape vidno, že odnos sedimentov pre jednotlivé subpovodia sa pohybuje v rozmedzí hodnôt 0.2 – 130.2 (t/ha/rok). Podľa [30] sú intervaly miery ohrozenia vodnou eróziou nasledovné (t/ha/rok):

- Veľmi slabé: do 1.6
- Slabé: 1.6 – 3.0
- Stredné: 3.1 – 4.5
- Silné: 4.6 – 6.0
- Veľmi silné: 6.1 – 7.5
- Extrémne: nad 7.5

Extrémne ohrozenie vodnou eróziou (nad 7.5 t/ha/rok) sa v dominantnej miere viaže na blízkosť vodných tokov a nižšiu nadmorskú výšku. Na severnom okraji MP sú to vyústenia Hronca, Volchova a Rácova. Podložie tvoria prevažne metamorfované horniny nižšieho stupňa premeny ako napr. svory z obdobia staršieho paleozoika. Najväčšiu plochu zaberajú oblasti okolo celej dĺžky toku Havraník až po vrch Veľký Cigáň (1235 m n.m.). Tu prevládajú wettersteinské vápence z obdobia stredného až mladšieho triasu. Menšie jednotky možno pozorovať aj v okolí Hutskeho potoka, Lehotskeho potoka a Rohoznej. Celkovo sú prevládajúcimi pôdnymi jednotkami na extrémne ohrozených subpovodiach kambizeme a rendziny. Subpovodia ohrozené silnou až veľmi silnou eróziou (4.5 – 7.5 t/ha/rok) sa nachádzajú hlavne v blízkosti extrémne ohrozených území. Patrí sem spodná časť toku Rácov, okolie náučnej lokality Studňa, východne od oblasti Jaskovej muky, oblasti Javorina a Župkov, pri sútoku Zdychavy a Hutskeho potoka, pri ich vyústení z MP a východne od vrchu Kučelach (1141 m n. m.) smerom k toku Rimava. Aj v týchto oblastiach je podloženie tvorené prevažne z vápencov, svorov a granitov. V miestach ohrozenia prevláda vegetácia, hlavne zmiešané lesy, nízky porast v lese, lúky a pastviny.

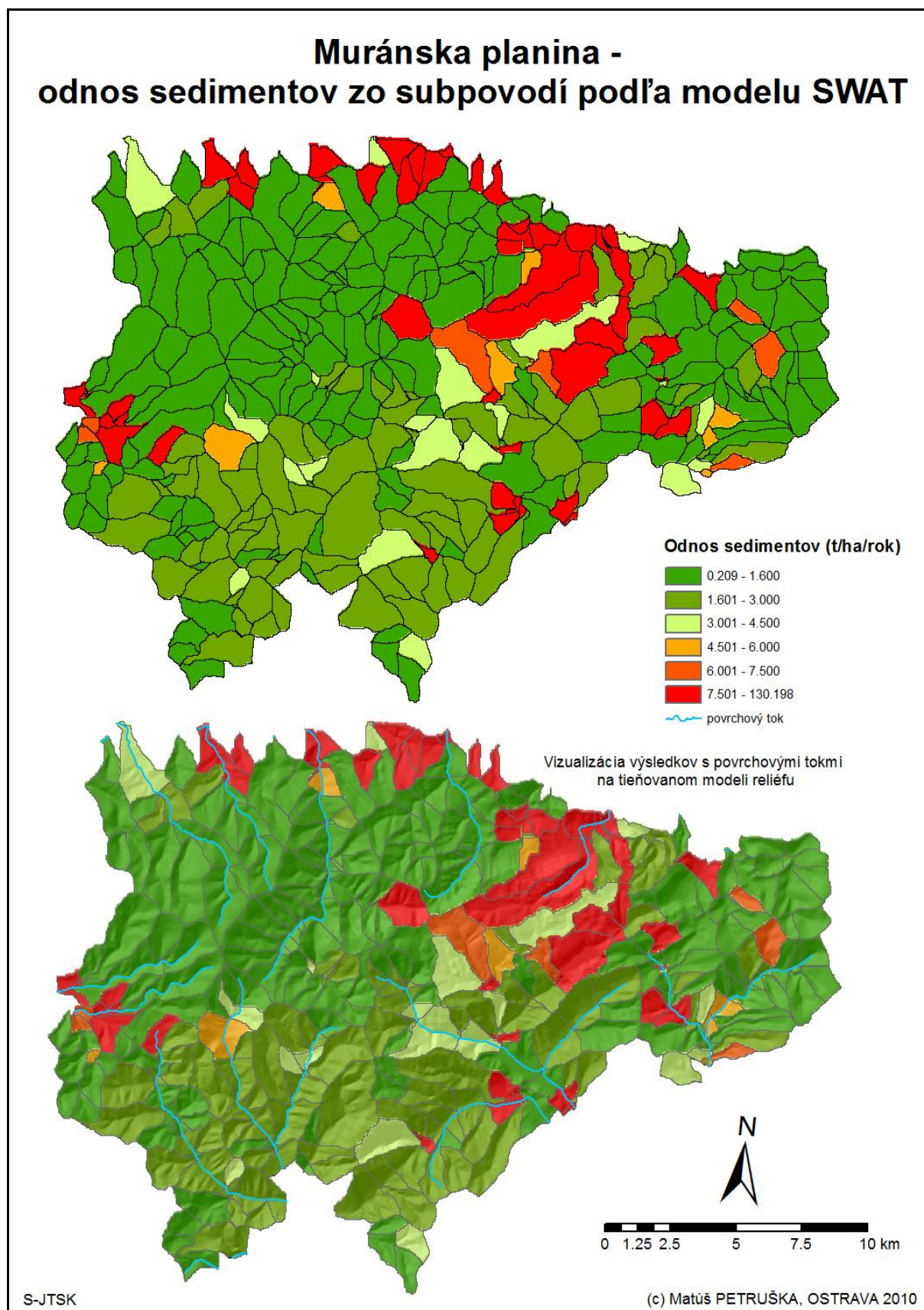
Veľmi slabá miera ohrozenia vodnou eróziou sa viaže vo všeobecnosti na vyššie nadmorské výšky. Výskyt týchto oblastí možno pozorovať vo všetkých častiach MP. Zároveň zaberá zo všetkých mier ohrozenia aj najväčšiu plochu. Z celej oblasti MP je to vyše 41 %. Prevládajúci hlavnými pôdnymi jednotkami sú podzoli a kambizeme podzolové, na ktorých rastú prevažne ihličnaté lesy.

V tabuľke 2 možno pozorovať kvantitatívne zhodnotenie výsledkov modelu SWAT.

Tabuľka 2 - Kvantitatívne zhodnotenie výsledkov modelu SWAT

Miera ohrozenia	Hodnota erózie (t/ha/rok)	Rozloha (ha)	Podiel na celkovej ploche územia MP (%)
Veľmi slabé	Do 1.6	16378	41.14
Slabé	1.601 – 3.0	12628	31.72
Stredné	3.001 – 4.5	2767	6.95
Silné	4.501 – 6	824	2.07
Veľmi silné	6.001 – 7.5	1847	4.64
Extrémne	Nad 7.501	5366	13.48

Zdroj: miera ohrozenia upravená podľa [30]



Obrázok 18 – Vizualizácia výsledkov simulácie SWAT

6 USPED

USPED - The Unit Stream Power Erosion and Deposition (Mitasova a kol., 1996; Mitasova 1998) - je model, ktorý simuluje priestorové rozloženie erózie a depozície sedimentov na základe zmeny transportnej kapacity tečúcej vody. Závisí od nasledujúcich faktorov: zmena množstva akumulovanej vody, sklon svahu, krivosť reliéfu, vlastnosti pôdy a využitie krajiny [29]. Model umožňuje výpočet plošnej ako aj rýhovej erózie.

USPED vychádza z univerzálnej rovnice straty pôdy USLE (Wischmeir, Smith 1978), ktorá má tvar:

$$Sp = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Sp - priemerná ročná strata pôdy v $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$

R - faktor erózneho účinnosti dažďa v $MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot H^{-1}$

K - faktor náchylnosti pôdy na eróziu v $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$

L - faktor neprerušenej dĺžky svahu

S - faktor sklonu svahu

C - faktor ochranného vplyvu vegetácie

P - faktor vyjadrujúci vplyv protieróznych opatrení

Model USPED je multidimenzionálne odvodený z rovnice USLE a je aplikovateľný na celý povrch terénu. Je najlepšie použiteľný v oblastiach, kde je erózia limitovaná schopnosťou odtoku transportovať sedimenty (t.j., oddeľovacia kapacita prevyšuje nad transportnou kapacitou). Tento model má výhodu v predpovedaní priestorovej distribúcie erózie a depozície [39]. Počíta eróziu a depozíciu ako rozdiel v transportnej kapacite sedimentov (tok sedimentov) pre danú počítanú bunku. Tento výpočet prebieha naprieč celou sieťou buniek. Pretože pre USPED neboli žiadnym experimentálnym výskumom odhadnuté niektoré parametre, používajú sa tieto parametre práve z rovnice USLE. Sú to faktory R, K, C a P. LS faktor je počítaný podľa vzorca:

$$LS = A^m (\sin \beta)^n$$

A – prispievajúca plocha (udáva celkovú plochu mikropovodia, z ktorého steká voda do daného bodu na reliéfe [40])

β – sklony svahov

m,n – konštanty: pre ryhovú eróziu $m=1.6, n=1.3$

: pre plošnú eróziu $m, n = 1$

Implementáciou výpočtu topografického faktora LS v tvare $A^m (\sin \beta)^n$ môžeme parameter Sp nahradiť transportnou kapacitou toku T

$$T = R * K * C * P * A^m * (\sin \beta)^n$$

Konečná podoba modelu USPED vyzerá teda nasledovne:

$$\underline{ED = d(T \cos \alpha) / dx + d(T \sin \alpha) / dy}$$

α je orientácia reliéfu.

6.1 Predpríprava vstupných údajov

Pred spustením samotného výpočtu modelu USPED bolo potrebné pripraviť si niektoré vstupné vrstvy. Konkrétne sa jednalo o vrstvy faktorov R, K, C a P.

6.1.1 Faktor R – faktor eróznej účinnosti dažďa

Faktor R, označovaný aj ako tzv. EI index, predstavuje faktor erózneho účinku dažďa. Na erózii sa v dominantnej miere podieľajú dažde s vysokou intenzitou ako lejaky a prietrže mračien. Dažde s nízkou kinetickou energiou eróziu nespôsobujú. Avšak nájst' a určiť hranicu medzi nimi je neľahká úloha. O jej určenie sa pokúšalo viacero autorov, napr. Wischmeier a Smith (1978) uvádzajú, že maximálna intenzita musí prekročiť 24 mm/hod, Toman (1985) a Hrnčiarová (2001) túto hodnotu znížili na 20mm/hod. Intenzita dažďa teda predstavuje najvýznamnejšiu vlastnosť zrážok, ktorá má vplyv na eróziu. Keďže plošný odtok eroduje pôdne častice len v zanedbateľnej miere, na ich rozrušovaní a uvoľňovaní sa v hlavnej miere podieľajú dažde s vysokou kinetickou energiou (Richnavský, 2008). Faktor R teda predstavuje úhrn, početnosť, intenzitu a kinetickú energiu dažďov.

- Wischmeier a Smith (1978) uvádzajú rovnicu, kde tento faktor predstavuje súčin celkovej kinetickej energie dažďa a jeho maximálnej 30 minútovej intenzity:

$$R = E \cdot i_{\max 30} \quad [\text{MJ.ha}^{-1} \cdot \text{cm.h}^{-1} \text{ resp. } \text{J.m}^{-2} \cdot \text{cm.h}^{-1}]$$

E - kinetická energia dažďa – tá sa dá určiť zo vzťahu: $E = (206 + 87 \log is) \cdot Hs \text{ [J.m}^{-2}]$

is - priemerná intenzita privalového dažďa v $[\text{cm.h}^{-1}]$

Hs - úhrn privalového dažďa v [cm]

$i_{\max 30}$ – **maximálna 30-minútová intenzita dažďa** $[\text{cm.h}^{-1}]$ – predstavuje priemernú

hodnotu intenzity v priebehu 30-minútového dažďového cyklu, počas ktorého dosiahol úhrn zrážok maximálnu hodnotu. Tieto hodnoty sa dajú získať pomocou prístroja – ombrografu. Ak trvanie dažďa nedosiahne 30 minút, do výpočtu sa dosadí hodnota $i_{30} = 2.Hs$.

Pre potreby mojej diplomovej práce som faktor R spočítal s ohľadom na jeho dlhoročnú priemernú ročnú hodnotu. Metóda na jeho výpočet je viacero, preto uvediem zopár príkladov:

- Pretl (1973) uvádza rovnicu, v ktorej jediný vstupný parameter predstavuje priemerný ročný úhrn zrážok (H) pre skúmanú oblasť: **$R = 0,058 \cdot H + 10,5$**
- Zachar a i., (1984) uvádza jej modifikovanú verziu: **$R = 0,068 \cdot H$**

Pre svoje územie som na určenie hodnoty faktora R použil rovnicu podľa Zachara. Zrážkomerné údaje som mal k dispozícii z 5 vodomerných staníc a to konkrétne Muráň, Pohronská Polhora, Šumiac, Telgárt a Predná Hora. Tieto údaje o priemerných mesačných úhrnoch zrážok boli z rokov 1981 – 2007, okrem Prednej Hory, kde je toto obdobie v rozmedzí 1983 - 2007 (tab.4). Pri výpočte som zohľadnil aj percentuálne rozdelenie faktora počas vegetačného obdobia roka (tab.3), ktorú odvodil Pasák pre pomery stredných Čiech, pretože pri počítaní s celoročnými zrážkami mi vychádzali hodnoty faktora 50 až 60, čo sú podľa môjho názoru vysoko nadhodnotené čísla. V tomto tvrdení mi pomohlo aj viacero faktorov, napr.:

- Pre územie Slovenska odvodil Alena izočiary faktora R. Tieto hodnoty sa pohybujú v rozmedzí 26 – 34
- Malíšek (1991) určil konkrétne hodnoty pre 86 staníc. Tieto hodnoty sú v rozmedzí 5.46 – 37.87

Tabuľka 3 - Percentuálne rozdelenie faktora R počas vegetačného obdobia

Mesiac	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október
Rozdelenie faktora R počas vegetačného obdobia (%)	0.5	7	26.8	32.2	31.1	2	0.4

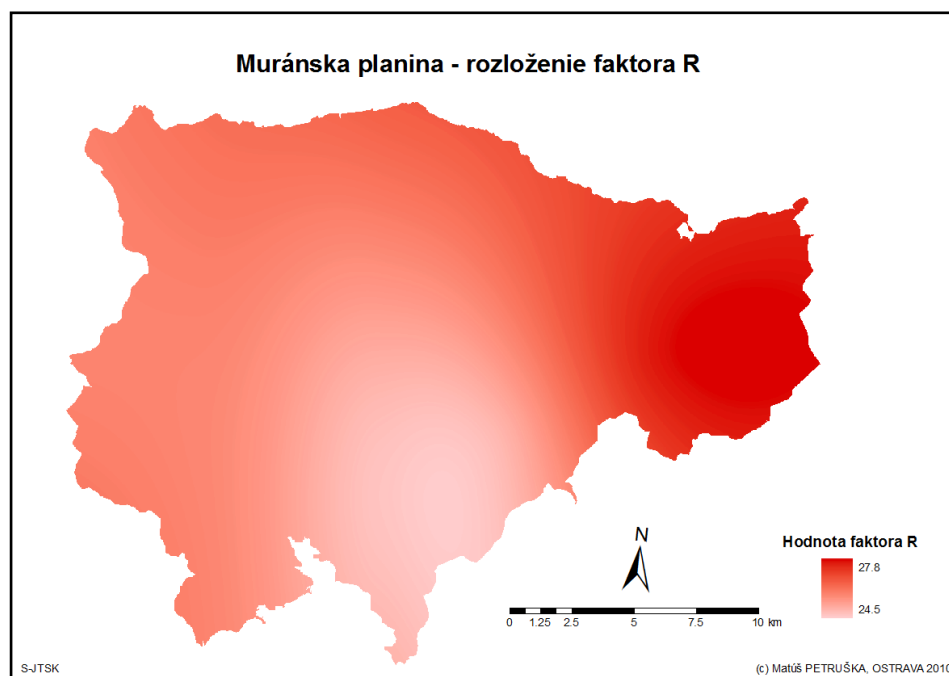
Zdroj: Pasák, odvodené pre pomery stredných Čiech

Ako vyplýva z tabuľky 3, v mesiacoch máj až august sa vyskytuje spolu vyše 97% faktora R. Preto sa na výslednej hodnote faktora R podieľajú vo výpočte zrážky z týchto mesiacov 97 percentami (v tab.4 zvýraznené červenou farbou) a zvyšné mesiace apríl, september a október len 3% (v tab. 4 zvýraznené modrou farbou). Po ich vypočítaní som si vytvoril novú bodovú vrstvu, kde som vložil samotné stanice spolu s atribútom veľkosti výsledného faktora R, ktorý sa pohyboval v rozmedzí 24.5 – 27.8. Pre výpočet na celé územie som použil interpolačnú metódu *Spline* (menu *Spatial Analyst/Interpolate to Raster/Spline*). Výsledné hodnoty možno pozorovať na obrázku 19.

Tabuľka 4 - Priemerné zrážky za obdobie 1981 – 2007 (mm)

Mesiac Stanica	Muráň	Pohronská Polhora	Predná Hora	Šumiac	Telgárt
1.	37.6	34.8	38.3	43.1	34.6
2.	35.2	37.5	43.7	44.3	38.8
3.	44	42.3	46.1	44.3	49
4.	64.3	56	70.9	61.1	67.6
5.	90.7	99.8	104.4	100.4	109.3
6.	99	109.7	114.7	114.8	113.6
7.	101.2	93.1	107.1	100.4	90.8
8.	82.5	82.7	85.3	89.4	93.5
9.	63.1	62	65.5	70	73.4
10.	68.1	53.2	58.7	56.5	55.4
11.	63.4	58.4	64.4	61.3	58.4
12.	57.4	48.4	41.4	49.8	43.4

Zdroj: SHMU



Obrázok 19 - Rozloženie faktora R

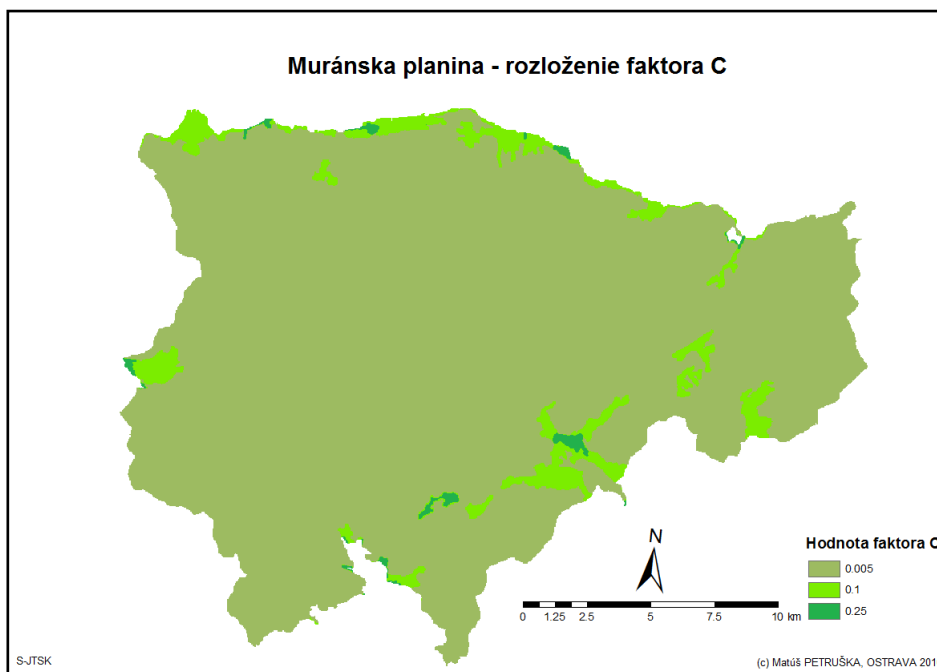
6.1.2 Faktor C – Faktor ochranného vplyvu vegetácie

Faktor ochranného vplyvu vegetácie som určil na základe dátovej vrstvy Corine LandCover (kategória povrchu krajiny). V tejto vrstve je každému polygónu priradený trojciferný kód, ktorý vyjadruje kategóriu LandCover. Hodnoty som každému polygónu priradil podľa tabuľky 5, v ktorej je uvedená okrem neho ešte aj úroveň ochrany pred eróziou. Priestorové rozloženie faktora C možno pozorovať na obrázku 20.

Tabuľka 5 - Kategórie vrstvy LandCover a jej prislúchajúce hodnoty C

CODE 00	Ochr. vplyv	Názov	Faktor C
112	neuvažované	Nesúvislá mestská zástavba	-
121	neuvažované	Priemyslové a obchodné areály	-
142	vysoký	Športové a rekreačné plochy	0,005
211	nízky	Nezavlažovaná orná pôda	0,25
231	vysoký	Luky a pastviny	0,005
242	nízky	Zmes poly luk a trvalých plodín	0,25
243	stredný	Poľnohospodárske oblasti s prirodzenou vegetáciou	0,1
311	vysoký	Listnaté lesy	0,005
312	vysoký	Ihličnaté lesy	0,005
313	vysoký	Zmiešané lesy	0,005
324	vysoký	Nízky porast v lese	0,005
512	neuvažované	Vodné plochy	-

Zdroj: upravené podľa [37]



Obrázok 20 - Rozloženie faktora C

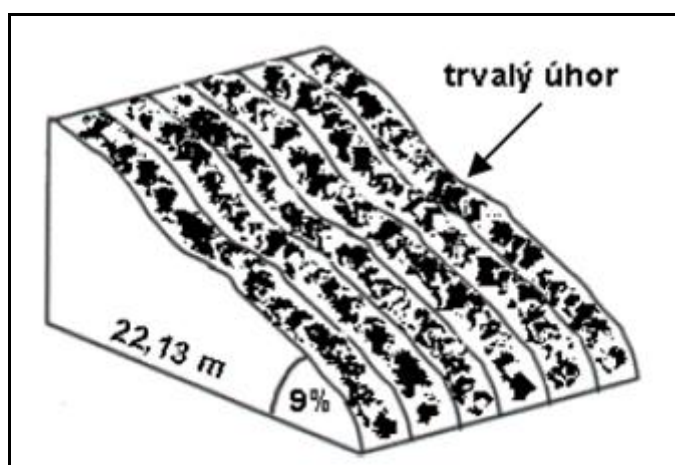
6.1.3 Faktor K – Faktor erodovateľnosti pôdy

Faktor K predstavuje faktor erodovateľnosti pôdy. Určuje vlastnosti pôdy, ktoré majú vplyv na jej stratu eróziou. Na jeho hodnotu má vplyv viacero faktorov, ale najviac asi štruktúra a textúra pôdy a schopnosť pôdneho profilu voči infiltrácii. Každý pôdny druh má totiž inú odolávajúcu schopnosť voči dažďovým kvapkám, ako aj voči následnému uvoľňovaniu pôdných častíc. Metóda na výpočet hodnoty faktora K je viacero. Ak sa na skúmanej pôde nachádza jednotkový pozemok (pozemok s dĺžkou 22,13 m, sklonom 9 %, ktorý je udržiavaný ako čierny trvalý úhor, obrábaný v smere sklonu, bez protieróznych opatrení (obr.21) a sú známe všetky potrebné výsledky merania, je možné použiť nasledujúci vzťah:

$$K = G.R^{-1}$$

R - erózna účinnosť dažďa [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ resp. $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$]

G - priemerná dlhodobá strata pôdy [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]



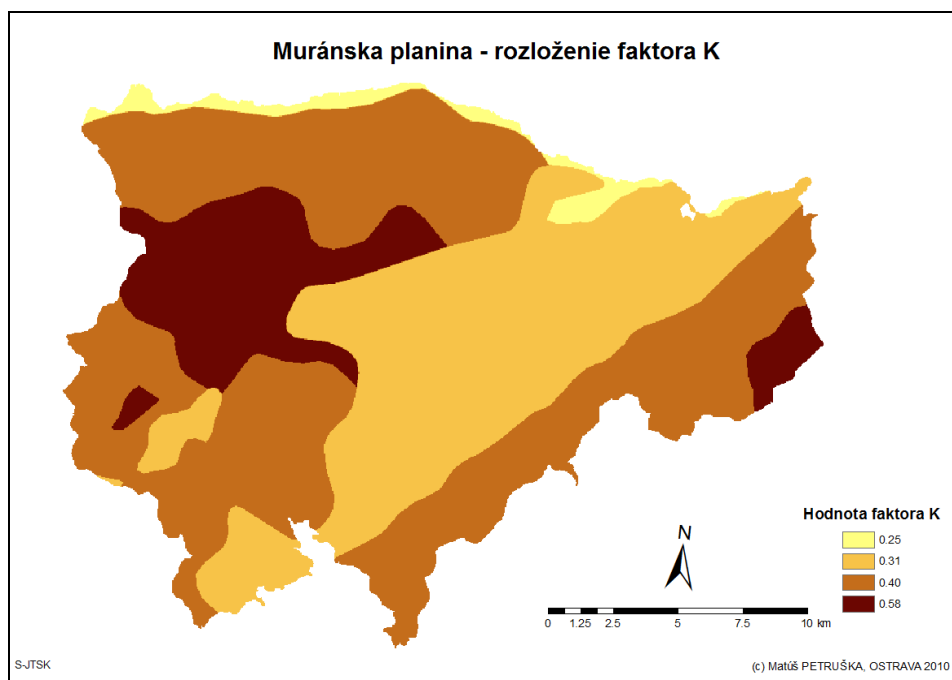
Obrázok 21 - Schematický náčrt trvalého úhora

V prípade môjho záujmového územia som tieto výsledky merania nemal k dispozícii, a tak som použil metódu interpretácie pomocou mapy HPJ, teda mapy hlavných pôdných jednotiek. Mapa HPJ predstavuje oblasti s podobnými pôdnymi subtypmi (majú podobné ekologické a genetické vlastnosti). HPJ sú v nej zakódované do čísiel 00-99. Hodnoty K pre jednotlivé pôdne typy sú uvedené v tabuľke 6 a ich priestorové rozloženie možno pozorovať na obrázku 22 .

Tabuľka 6 - Faktor K pre jednotlivé pôdne typy

Pôdne jednotky	Faktor K
Kambizeme podzolové	0,40
Kambizeme modálne	0,40
Kambizeme pseudoglejové	0,25
Rendziny	0,31
Podzoly	0,58

Zdroj: upravené podľa [36]



Obrázok 22 - Rozloženie faktora K

6.1.4 Faktor P – Faktor protieróznych opatrení

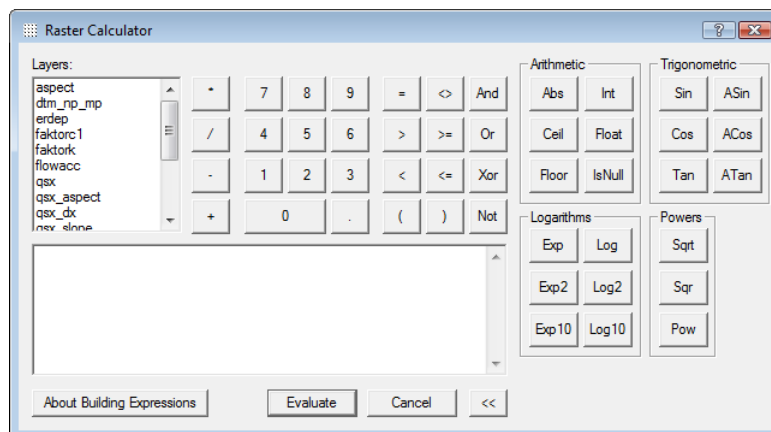
P-faktor predstavuje a charakterizuje rôzne protierózne opatrenia na skúmanom území. Keďže v mojom záujmovom území sa takéto protierózne opatrenia nenachádzajú, nastavil som hodnotu faktora P na 1 pre celé územie preto, aby neovplyvnil hodnotu celého

6.2 Postup výpočtu modelu USPED

Pri opise postupu výpočtu modelu USPED budem postupovať presne podľa inštrukcií, ktoré sú uverejnené na internetovej stránke H. Mitašové (hlavný tvorca modelu USPED): <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helenagmslab/denix/uspед.html>. Pre lepšiu prehľadnosť ponechám vstupným aj výstupným parametrom pomenovania tiež podľa tohto

postupu. Celý postup prebieha v prostredí programu ArcMap. V opise uvádzam postup pre výpočet plošnej aj ryhovej erózie.

Podstatná časť výpočtu prebieha za pomoci modulu *Raster Calculator* (ďalej RC), ktorý sa nachádza priamo v menu funkcie *Spatial Analyst* (obr. 23).



Obrázok 23 - Okno modulu Raster Calculator

Prvým krokom je výpočet sklonov a orientácie svahov. V menu pomocou *Spatial Analyst/Surface Analysis/Slope* som vytvoril vrstvu sklonov svahov a nazval som ju slope. V menu *Spatial Analyst/Surface Analysis/Aspect* som vytvoril vrstvu orientácie svahov a nazval som ju aspect. Nasleduje vytvorenie vrstvy akumulácie toku.

Do okna RC som zadal:

FlowAccumulation(FlowDirection([elevation]))

(Elevation predstavuje vrstvu DTM). Výstupnú vrstvu som nazval flowacc.

Do okna RC som zadal:

- pre ryhovú eróziu: **Pow([flowacc] * resolution , 0.6) * Pow(Sin([slope] * 0.01745) , 1.3))**
- pre plošnú eróziu: **[flowacc] * resolution * Sin([slope] * 0.01745)**

Namiesto položky resolution som doplnil hodnotu 25 (podľa veľkosti cellsize vrstvy DTM). Položka slope predstavuje vrstvu sklonov svahov. V oboch prípadoch som výslednú vrstvu nazval sflowtopo.

Do okna RC som zadal:

$$[\text{sflowtopo}] * [\text{kfac}] * [\text{cfac}] * [\text{rfac}] * \mathbf{Cos}(((\text{aspect}] * (-1)) + 450) * .01745)$$

Položky kfac, cfac a rfac predstavujú vrstvy faktorov K, C a R. Položka aspect predstavuje vrstvu orientácie svahov. Výslednú vrstvu som nazval qsx.

Do okna RC som zadal:

$$[\text{sflowtopo}] * [\text{kfac}] * [\text{cfac}] * [\text{rfac}] * \mathbf{Sin}(((\text{aspect}] * (-1)) + 450) * .01745)$$

Vrstvu som nazval qsy.

Následne som z nej v menu *Spatial Analyst Tools/Surface/Slope* vytvoril vrstvu sklonov. Nazval som ju qsx_slope. Rovnaký postup som aplikoval aj v menu *Spatial Analyst Tools/Surface/Aspect* pre výpočet vrstvy orientácií. Výstupnú vrstvu som nazval qsy_aspect.

Do okna RC som zadal:

$$\mathbf{Cos}(((\text{qsx_aspect}] * (-1)) + 450) * .01745) * \mathbf{Tan}([\text{qsx_slope}] * .01745)$$

Výstupnú vrstvu som nazval qsx_dx.

Do okna RC som zadal:

$$\mathbf{Sin}(((\text{qsy_aspect}] * (-1)) + 450) * .01745) * \mathbf{Tan}([\text{qsy_slope}] * .01745)$$

Výstupnú vrstvu som nazval qsy_dy.

Potom nasledoval posledný krok postupu modelu USPED.

- Pre výpočet rýhovej erózie som do RC vložil: $[\text{qsx_dx}] + [\text{qsy_dy}]$
- A pre výpočet plošnej erózie: $([\text{qsx_dx}] + [\text{qsy_dy}]) * 10$.

Výstupné vrstvy po tomto výpočte už predstavujú samotný výsledok modelu USPED, teda vrstvy pôsobenia plošnej a rýhovej erózie/depozície.

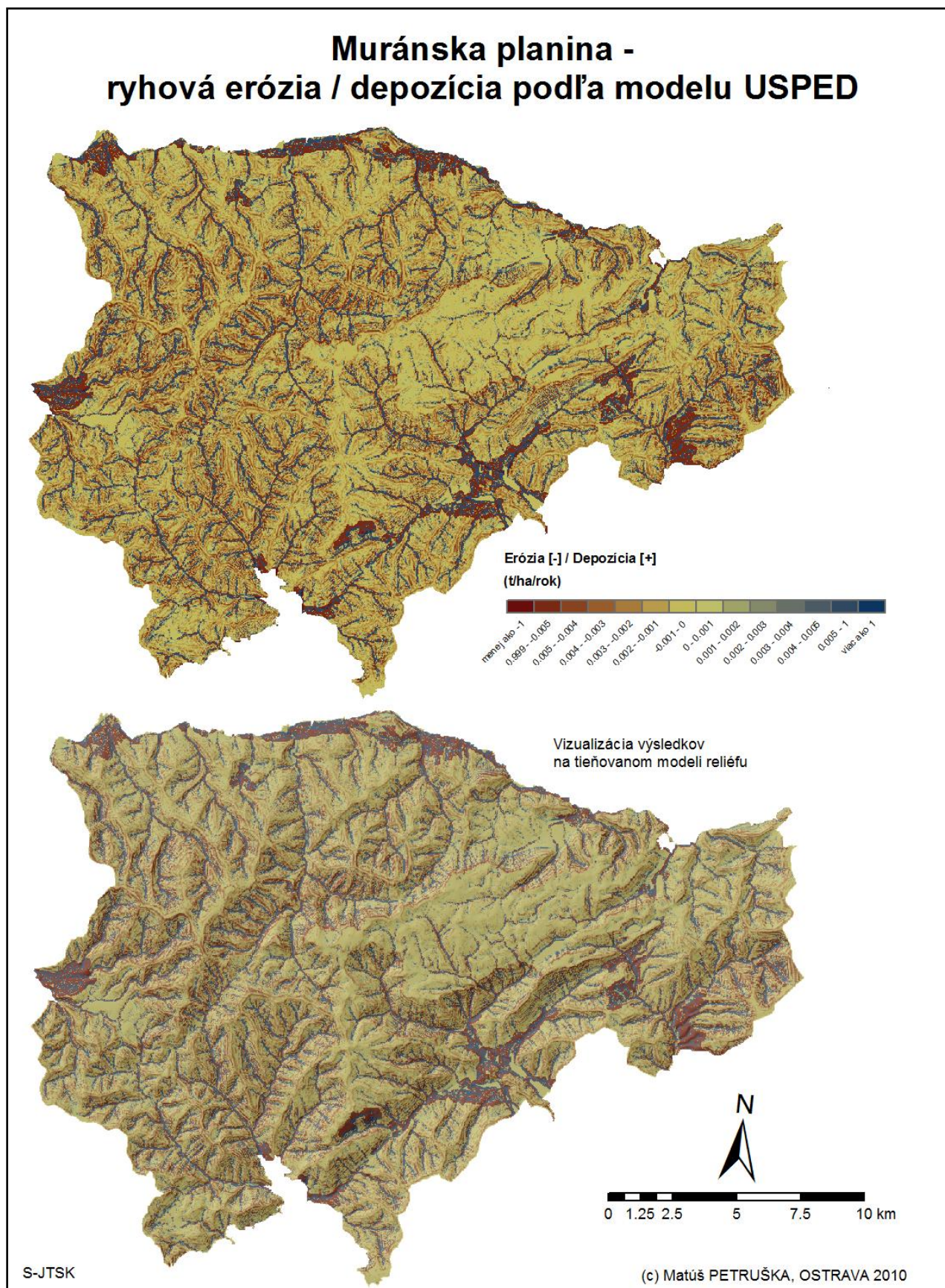
6.3 Interpretácia výsledkov modelu USPED

- **Ryhová erózia/depozícia**

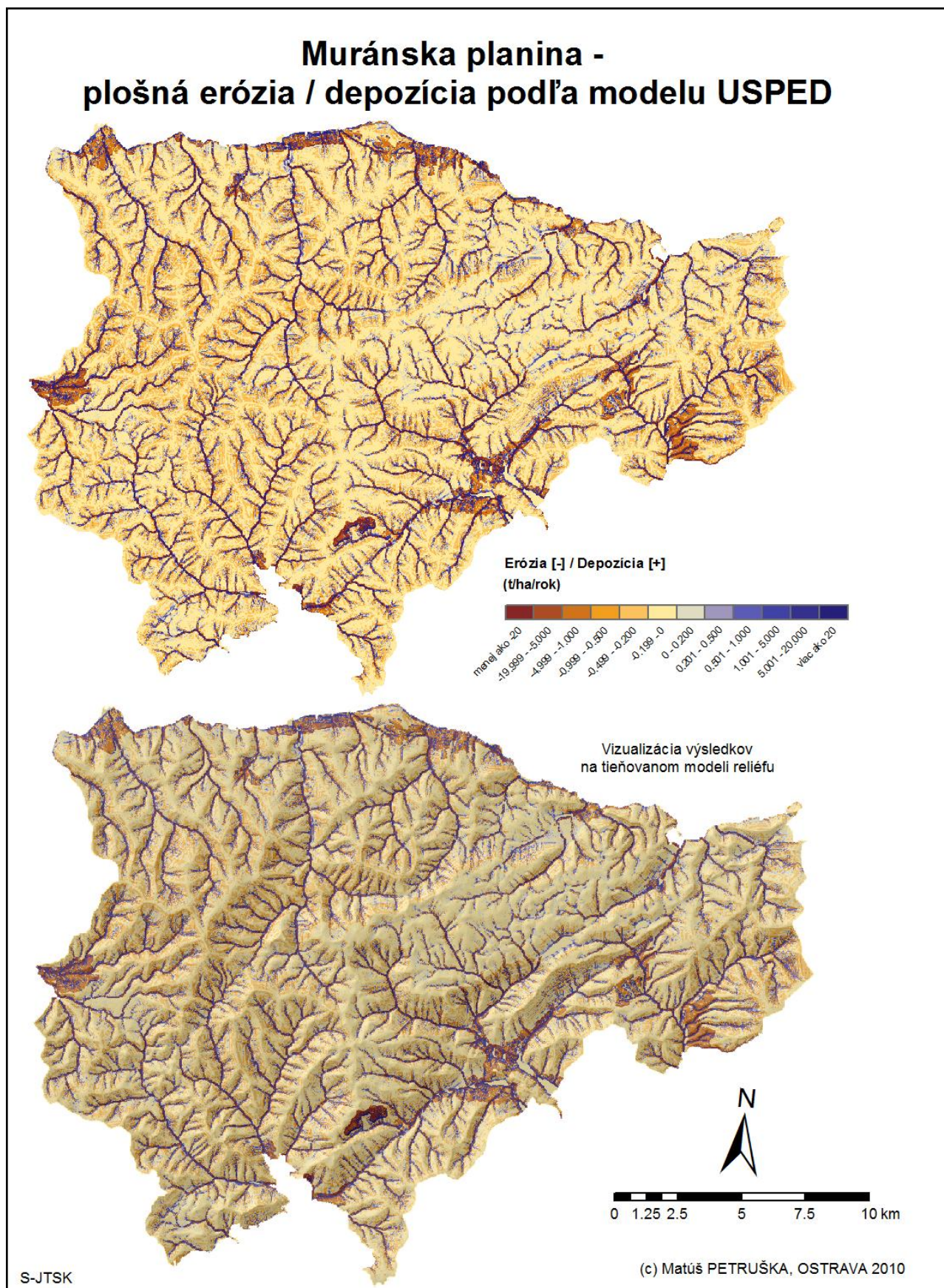
Priestorové rozloženie veľkosti ryhovej erózie/depozície možno pozorovať na obr. 24. Zvýšené hodnoty depozície sa nachádzajú v tesnej blízkosti vodných tokov a na dne dolín a erózie na okrajoch dolín a na jej strmých svahoch. V drvivej miere sú zastúpené hodnoty $<-1:1>$ t/ha/rok. Výskyt vyšších hodnôt erózie aj depozície možno pozorovať len na veľmi malých územiach. Najväčšie zhľuky týchto hodnôt sú lokalizované okolo toku Hron, pri sútoku Hrdzavého potoka a Muráňa a východne od vrchov Šarkanica (1151 m n. m) a Čremošná (749 m n. m). Ako som už spomínal, najviac sú zastúpené hodnoty $<-1:1>$ t/ha/rok. Najväčšie koncentrácie týchto hodnôt možno pozorovať okolo Hrona a jeho sútokov Petrikovo, Hronec, Rácov a Havraník. Prevládajúce podložie tvoria fluviálne sedimenty, bližšie nerozlíšené svahoviny a sutiny. Ďalej v hornej časti toku Hutského potoka a okolo jeho sútoku so Zdychavou (paraluly a granity), pri sútoku Hrdzavého potoka a Muráňa (paraluly a fluviálne sedimenty) a pri vyústení Lehotského potoka a Koniarok z územia MP (bližšie nerozlíšené svahoviny a sutiny). Jedinou väčšou oblasťou, kde sa výskyt týchto hodnôt neviazá na vodný tok resp. jeho blízkosť je oblasť NPR Šarkanica, ktorej podložie tvoria vápence. Na obrázkoch 25 a 26 možno túto oblasť pozorovať v južnej časti MP, severozápadne od prameňa Lehotského potoka. Celkovo možno územie MP zhodnotiť, že na ňom prevláda veľmi malá, takmer nepatrná erózia, s hodnotou do 0.005 t/ha/rok.

- **Plošná erózia/depozícia**

Priestorové rozloženie plošnej erózie/depozície možno pozorovať na obr. 25. Hodnoty sa pohybujú rádovo vyššie ako to bolo pri erózii/depozícii ryhovej. Najvyššie hodnoty sa pohybujú nad hranicou 20 t/ha/rok. Logicky sa musia zvýšené hodnoty plošnej erózie aj depozície viazať na rovnaké územia a oblasti, ako to bolo pri erózii/depozícii ryhovej. Rozdiel je len v rádovo väčších hodnotách.



Obrázok 24 – Výsledná mapa ryhovej erózie/depozície podľa modelu USPED



Obrázok 25 - Výsledná mapa plošnej erózie/depozície podľa modelu USPED

7 Analýza morfometrických parametrov a indexov reliéfu

Georeliéf má veľmi zložitý tvar. Už oddávna sa na jeho charakteristiku popri kvalitatívnych (morfografických) termínoch používajú aj kvantitatívne (morfometrické) parametre. Ich hodnotu možno vyjadriť priestorovými mierami a následne z nich odvodenými parametrami ako sú výška, dĺžka, šírka, plocha, sklon, krivosť a pod. Tieto parametre vyjadrujú, čo sa týka tvarových vlastností plochy, to isté ako morfografické termíny (napr. brázda, dolina, hrebeň, chrbát atď.) ale presnejšie. Morfometrické vlastnosti reliéfu vyplývajú z jeho geometrickej podstaty. V podstate je možné ich priradiť k akejkoľvek ploche, silou gravitácie však nadobúdajú i špecifický (morfodynamický) význam. Morfometrické charakteristiky sa môžu rozdeliť do troch skupín a to na bodové (hodnota môže byť iná v každom bode georeliéfu), líniové (charakterizujú významné čiary na georeliéfe) a plošné (charakterizujú časti georeliéfu) [27]. V mojom prípade analyzujem plošné morfometrické charakteristiky vzťahujúce sa k subpovodiám.

Morfometrickú analýzu reliéfu MP možno rozdeliť na dvoch krokov a to:

1. Výpočet vybraných morfometrických parametrov a indexov reliéfu pre jednotlivé subpovodia
2. K-means zhukovú analýzu týchto parametrov

Základným predpokladom k samotnej analýze georeliéfu je numerické vyjadrenie jeho vlastností. Podľa (Voženílek, 2001 in Borovička, 2004) sú morfometrické a následne štruktúrne vlastnosti reliéfu určené deriváciou nadmorskej výšky. Preto jediným vstupom pre výpočet morfometrických parametrov je DTM. Výstup tvoria tematické morfometrické mapy a tabuľka K-means zhukovej analýzy.

7.1 Morfometrické parametre a ich výpočet

Všetky výpočty morfometrických parametrov prebehli v programe ArcGIS 9.2, a to konkrétne pomocou funkcie *Zonal Statistic* umiestnenej v menu *Spatial Analyst*. Táto funkcia vypočíta pre každú oblasť (v mojom prípade pre jednotlivé subpovodia, ktorých je na záujmovom území celkovo 358) z DTM štatistické parametre ako minimum, maximum, rozpätie, priemer, štandardnú odchylku a sumu. Spočíta aj počet buniek rastru v každom

subpovodí a tiež ich plochu. Pre každé subpovodie, ktorých hranice boli vygenerované pri postupe budovania modelu SWAT (kapitola 5.2), bolo počítaných celkovo 7 morfometrických parametrov a to:

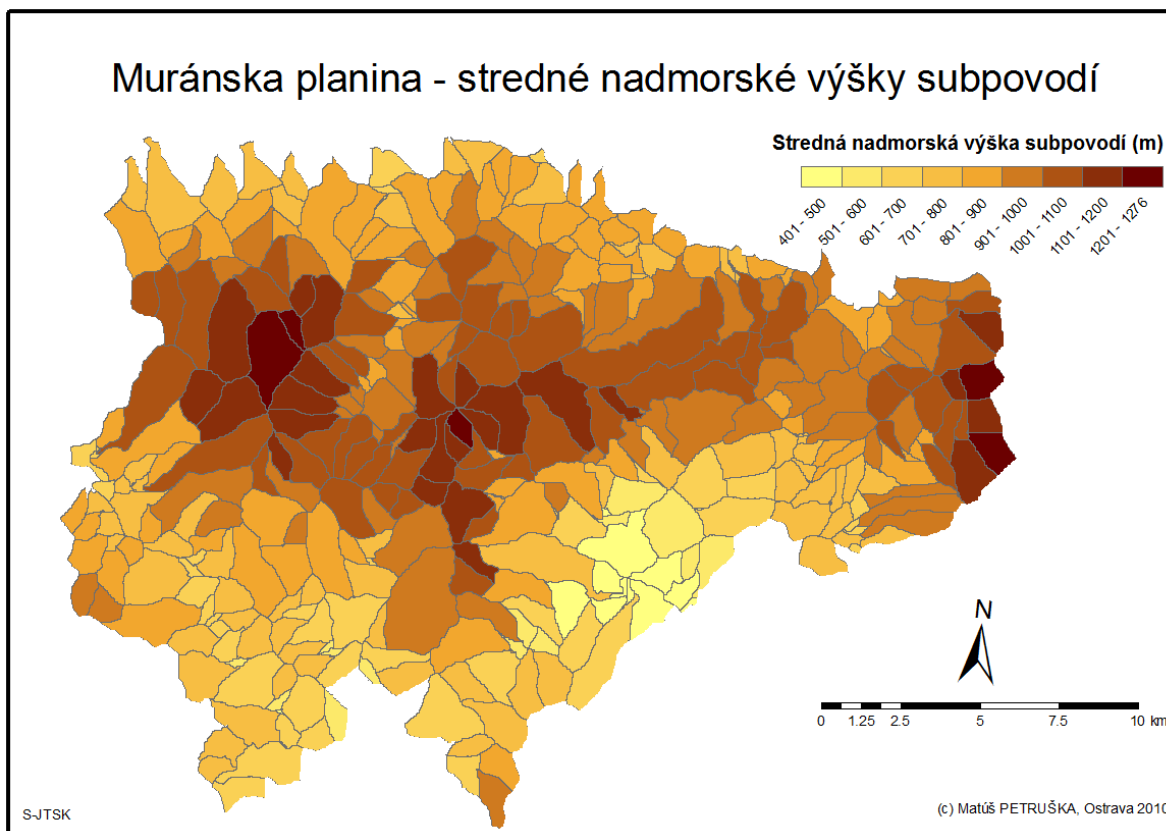
- stredná nadmorská výška subpovodí
- vertikálna členitosť subpovodí
- hypsometrický integrál subpovodí
- Meltonov index subpovodí
- stredný sklon reliéfu subpovodí
- topografický index subpovodí
- plocha subpovodí

Prvé štyri parametre boli vypočítané z DTM, ďalšie dva z modifikácie DTM (grid sklonov svahov) a plocha povodí zo samotnej vrstvy hraníc subpovodí.

7.1.1 Stredná nadmorská výška subpovodí

Nadmorská výška je základným a východiskovým morfometrickým parametrom. Sú z nej minimálne čiastočne odvodzované všetky ostatné parametre. Nadmorskou výškou prakticky vyjadrujeme absolútnu pozíciu študovanej jednotky v tiahovom poli zeme, takže je z nej možné uvažovať nad gravitačným potenciálom jednotky v priestore.

Stredné nadmorské výšky (obr. 26) dosahujú na území MP hodnoty 401 až 1276 metrov. Do intervalu s najvyššou hodnotu tohto parametra (1201 – 1276 m n. m.) patrí 5 subpovodí, a to v strednej oblasti samotného NP v okolí jej najvyššieho vrchu – Fabovej hole (1439 m n. m.), ako i na východnej hranici ochranného pásma v okolí najvyššieho vrchu celej oblasti MP – Stolice (1476 m n. m.) Najväčšiu početnosť majú subpovodia so strednou nadmorskou výškou 801 – 900 metrov (celkovo 73 jednotiek subpovodí). Postupne k maximálnej i minimálnej hodnote sa početnosť subpovodí znižuje. Najnižšie hodnoty (do 500 metrov) sa nachádzajú výlučne v južnej časti územia okolo obcí Muráň a Muránska Lehota.



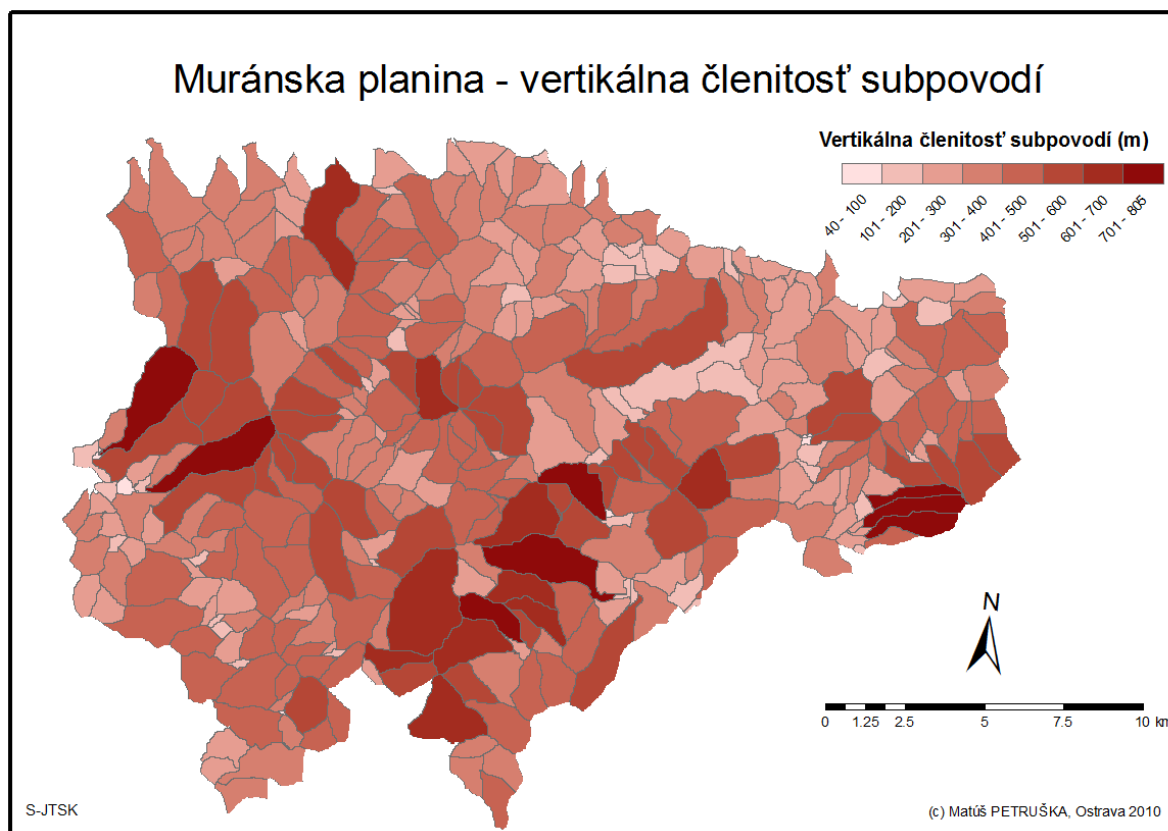
Obrázok 26 - Stredná nadmorská výška subpovodí

7.1.2 Vertikálna členitosť

Vertikálna členitosť je prakticky rozdielom maximálnej a minimálnej nadmorskej výšky subpovodí. Tento parameter teda poukazuje na gravitačný potenciál pochodov v rámci samotného subpovodia.

Rozpätie hodnôt vertikálnej členitosti nadobúda hodnoty 40 – 805 m. Najvyššie (nad 700 metrov) dosahuje v oblasti Gajdošovej doliny, doliny potoka Rohozná začínajúc Fabovou hoľou (1439 m n.m), v okolí vrchov Stolica (1476 m n. m) a Kohút (1409 m n. m.) smerom k toku Zdychava, v okolí Martinovej doliny, na území NPR Javorníková a Poludnica. Vysoké hodnoty (601-700 m) sa vyskytujú v okolí vrchov Kľak (1409 m n. m.), Slatvinské (1213 m n. m) smerom k rieke Hron. Ich hlavný výskyt je lokalizovaný od obci Tisovec smerom k vrchu Pavelková. Tu vertikálna členitosť takmer vôbec neklesá pod túto hodnotu. Naopak najnižšie hodnoty (do 100 m) dosahujú len subpovodia rozlohou patriace k najmenším. Spomenúť možno oblasti v katastroch obci Pohronska Polhora, Muránska Huta a Muráň. Najväčšiu početnosť (celkovo 88) dosahuje trieda

intervalu 301 – 400 m. Rozloženie hodnôt vertikálnej členitosti možno pozorovať na obrázku 27.



Obrázok 27 - Vertikálna členitosť subpovodí

7.1.3 Hypsometrický integrál

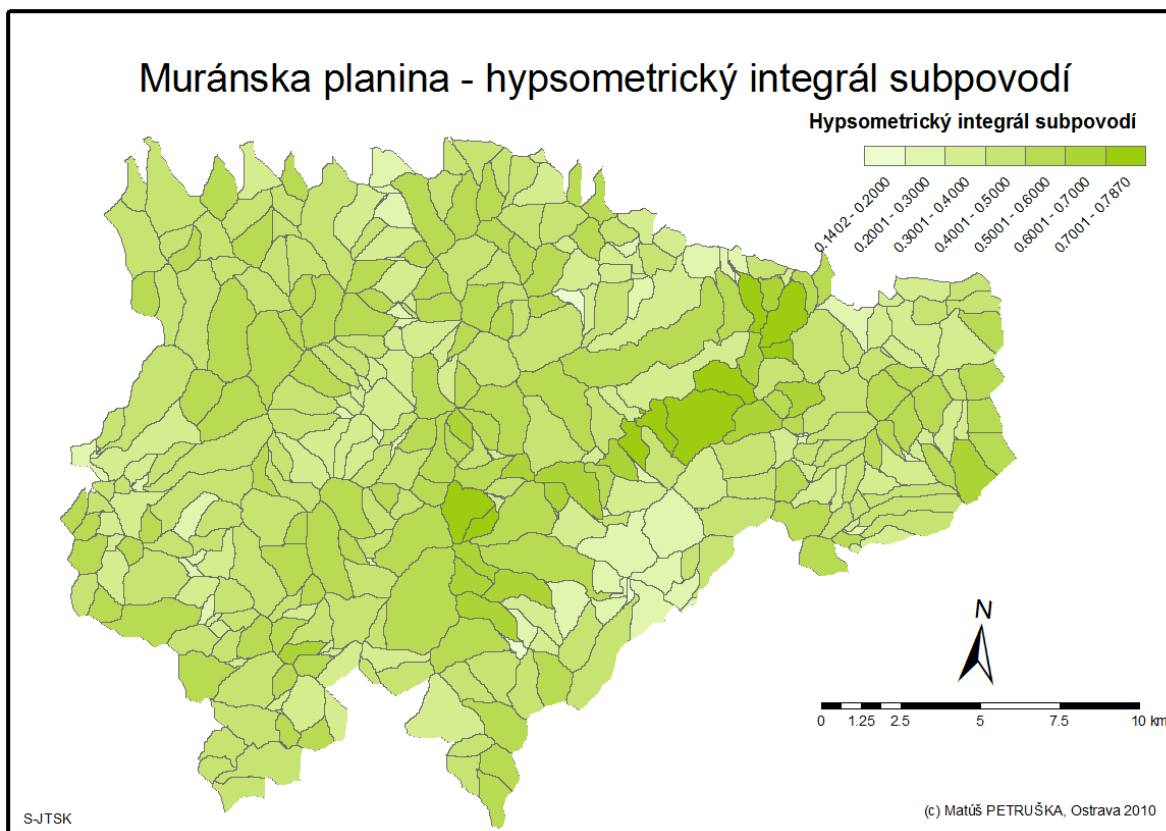
Hypsometrická krivka je kumulatívna krivka jednotlivých hypsometrických stupňov. Hypsometrický integrál predstavuje kvantifikáciu hypsometrickej krivky – vyjadruje jej tvar a vzťah medzi nadmorskou výškou a plochou subpovodia [33]. Jedná sa o plochu uzavretú hypsometrickou krivkou. Ďalej by sa jeho význam dal interpretovať aj podľa (Gelabert, 2005) – svojou hodnotou vyjadruje množstvo doteraz nepremiestneného materiálu v subpovodí, alebo podľa Azora a kol. (2002) predstavuje kvantitatívnu mieru stupňa rozčlenenia subpovodí. Výpočet hypsometrického integrálu prebiehal v prostredí ArcGIS podľa vzťahu:

$$Hint = (Hmean - Hmin) / H$$

Hmean – stredná výška subpovodí

Hmin – minimálna výška subpovodí

H – vertikálna členitosť subpovodí



Obrázok 28 - Hypsometrický integrál subpovodí

Ako možno pozorovať na obrázku 28, rozloženie jeho hodnôt už nedosahuje takú pravidelnosť, ako to bolo v prípade stredných nadmorských výšok, i keď tu je zjavná istá zákonitosť priestorovej distribúcie. Hodnoty hypsometrického integrálu sa pohybujú v rozmedzí 0,1402 – 0,787. Najvyššie (nad 0,700) sa nachádzajú v oblasti začínajúcej severne od vrchu Cigánka (935 m n. m.), tiahnu sa smerom na Šiance (1041 m n. m.), sedlo Predná Hora (865 m n. m.) až po sedlo Javorinka (965 m n. m.). Ďalej sa nachádzajú pri severnej hranici územia MP okolo vrchu Viecha (1073 m n. m.) a Ostrica (1223 m n. m.) v strednej časti územia. Najviac početné zastúpenie majú intervaly hodnôt 0,401 – 0,500 (117) a 0,501 – 600 (94). Sú rozložené viac-menej po celej oblasti MP. Najnižšie hodnoty (do 0,200) sa nachádzajú opäť pri obci Muránska Lehota, vrchu Pod Čiert'ážou (732 m n. m.) a južne od vrchu Strundžaník (902 m n. m.).

7.1.4 Meltonov index subpovodí

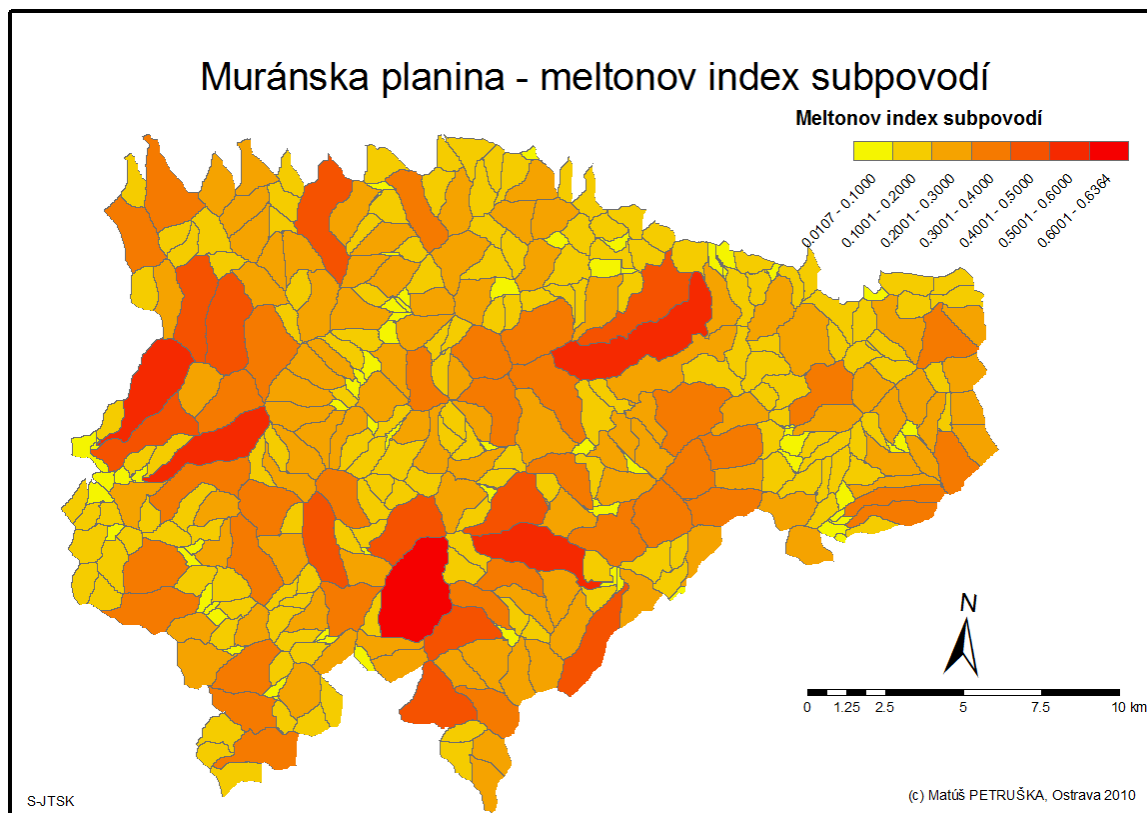
Meltonov index predstavuje akúsi charakteristiku reliéfu, ktorá vyjadruje jeho náchylnosť k vzniku rýchlych gravitačných pohybov. Limitnú hodnotu, pri ktorej prekročení má reliéf dobré predpoklady k vzniku týchto svahových deformácií je 0,25 (Šír, 2007). V prostredí ArcGIS bol vypočítaný pre každé subpovodie podľa rovnice:

$$R = H \cdot A^{-1/2}$$

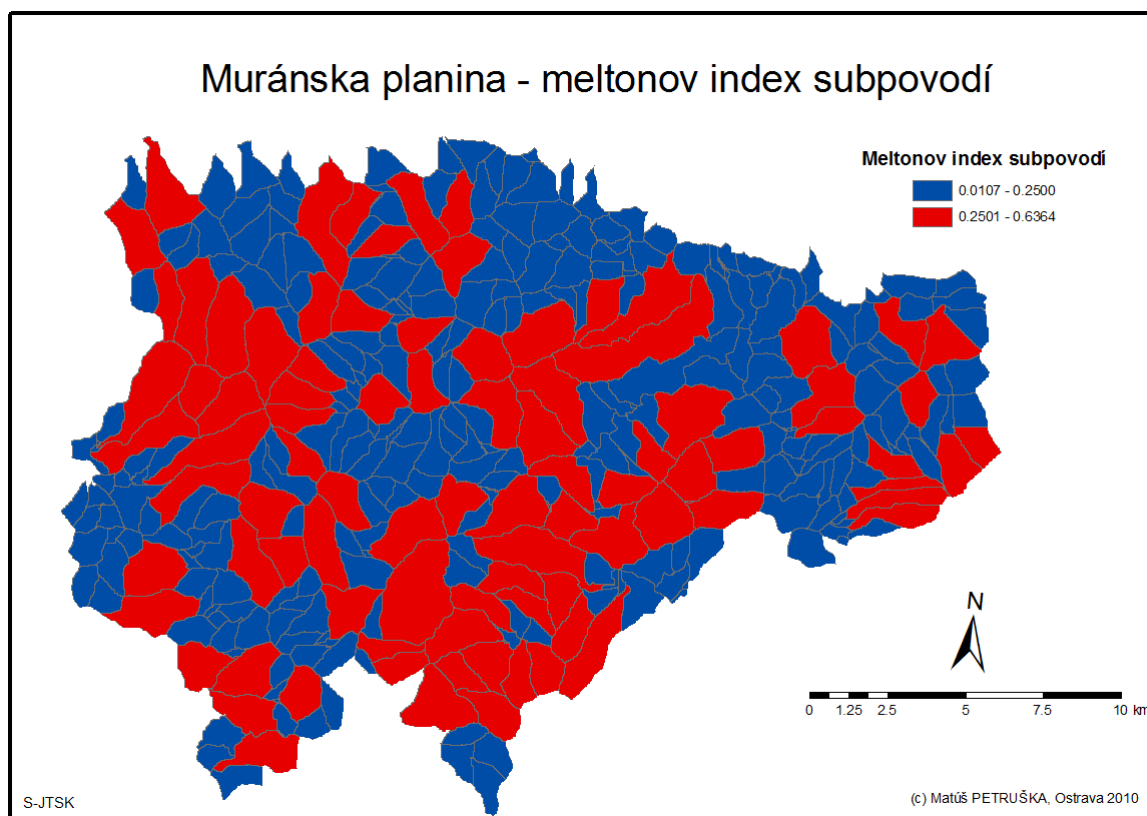
H – vertikálna členitosť subpovodí

A – plocha subpovodí

Rozloženie hodnôt možno pozorovať na obrázku 29. Najvyššiu hodnotu nad 0,6001 dosahuje len jedno subpovodie, a to v južnej časti územia pri národnej prírodnej rezervácii Šarkanica. Konkrétna hodnota Meltonovho indexu predstavuje 0,6364. Toto subpovodie má teda teoreticky podľa interpretácie tohto indexu najvyššiu náchylnosť k vzniku rýchlych svahových deformácií. Vysokú teoretickú náchylnosť majú aj 4 subpovodia, ktorých hodnoty skúmanej charakteristiky sa pohybujú v rozmedzí 0,5001 – 0,6. Patrí sem subpovodie na východnej hranici MP medzi vrchmi Psica (1397 m n. m.) a Lešník (1312 m n. m.), v okolí vrchnej časti toku Rohozná, v NPR Javorníková a oblasť medzi náučnou lokalitou Studňa smerom k hornej časti toku Havraník. Najnižšie hodnoty (do 0,1) a teda teoreticky oblasti s najnižším rizikom k vzniku rýchlych svahových deformácií, sa takmer výlučne vyskytujú v plošne malých plochých údolných partiách. Je to hlavne v okolí obce Pohronská Polhora pri ústí Rohoznej a Koniarky z MP, v okolí hornej a strednej časti Hronca, pri sútoku Zdychavy a Hutského potoka, pozdĺž Furmanca ako aj pri ústí Rohoznej do Hrona. Najpočetnejšie zastúpenie majú intervaly 0,1001 – 0,2000 (150) a 0,2001 – 0,3000 (93). Na obrázku 30 možno pozorovať rozdelenie subpovodí podľa hraničnej hodnoty Meltonovho indexu 0,25. Oblasti s hodnotu nad 0,25 majú už teoreticky dobrý predpoklad k vzniku rýchlych svahových deformácií. Ich výskyt možno pozorovať takmer v každej časti územia MP.



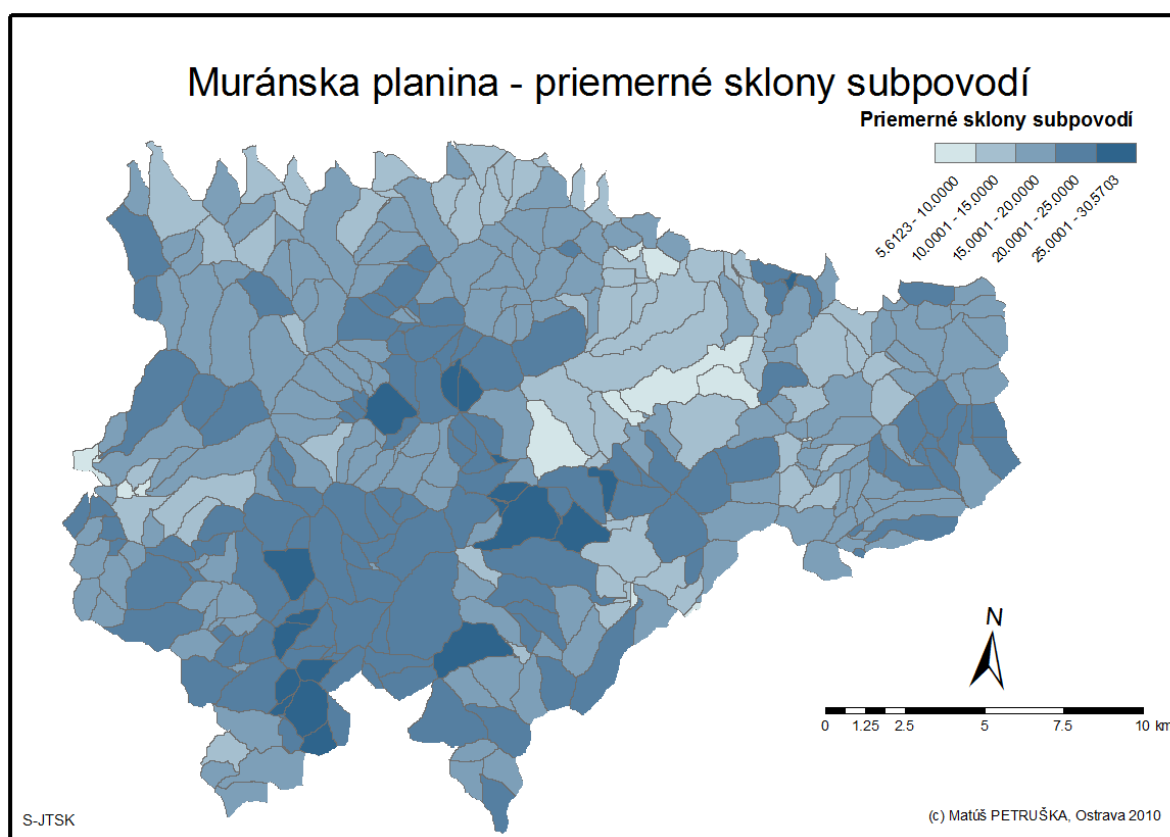
Obrázok 29 - Meltonov index subpovodí



Obrázok 30 - Meltonov index subpovodí - hraničná hodnota 0,25

7.1.5 Priemerný sklon svahov subpovodí

Sklon reliéfu je základný parameter pre vyjadrenie intenzity gravitačne podmienených procesov v subpovodí. Hodnoty priemerných sklonov svahov subpovodí (obr. 31) sa pohybujú v rozmedzí 5,5 až 30,6°. Maximálne hodnoty (nad 25°) sa nachádzajú v strednej časti územia pri vrchoch Kľak (1209 m n. m.), Zadné hory (1297 m n. m.) a Pavelková (1144 m n. m.). Ďalej je ich výskyt situovaný v južnej časti pri vrch Šarkanica (1151 m n.m.), Strieborná (986 m n. m.), Magnet (964 m n. m.) a pri vyústení toku Furmanec z oblasti MP. Jedno subpovodie s takouto pomerne vysokou hodnotou sa nachádza aj na severnej hranici oblasti, medzi vrchom Viecha (1073 m n. m.) a riekou Hron. Najviac jednotiek patrí do intervalovej triedy 15 - 20° (celkovo 149). Najnižšie priemerné hodnoty sklonov svahov (5,6 - 10°) majú jednotky situované pri obci Muránska planina - pri vyústení tokov Rohozná a Koniarky z MP. V strednej časti územia sa nachádza ich najväčší zhluk medzi NPR Šance a tokom Havraník, severne od vrchu Pavelková. Menšie jednotky s touto hodnotou sa nachádzajú aj pri severnej a južnej hranici územia MP.



Obrázok 31 - Priemerné sklony subpovodí

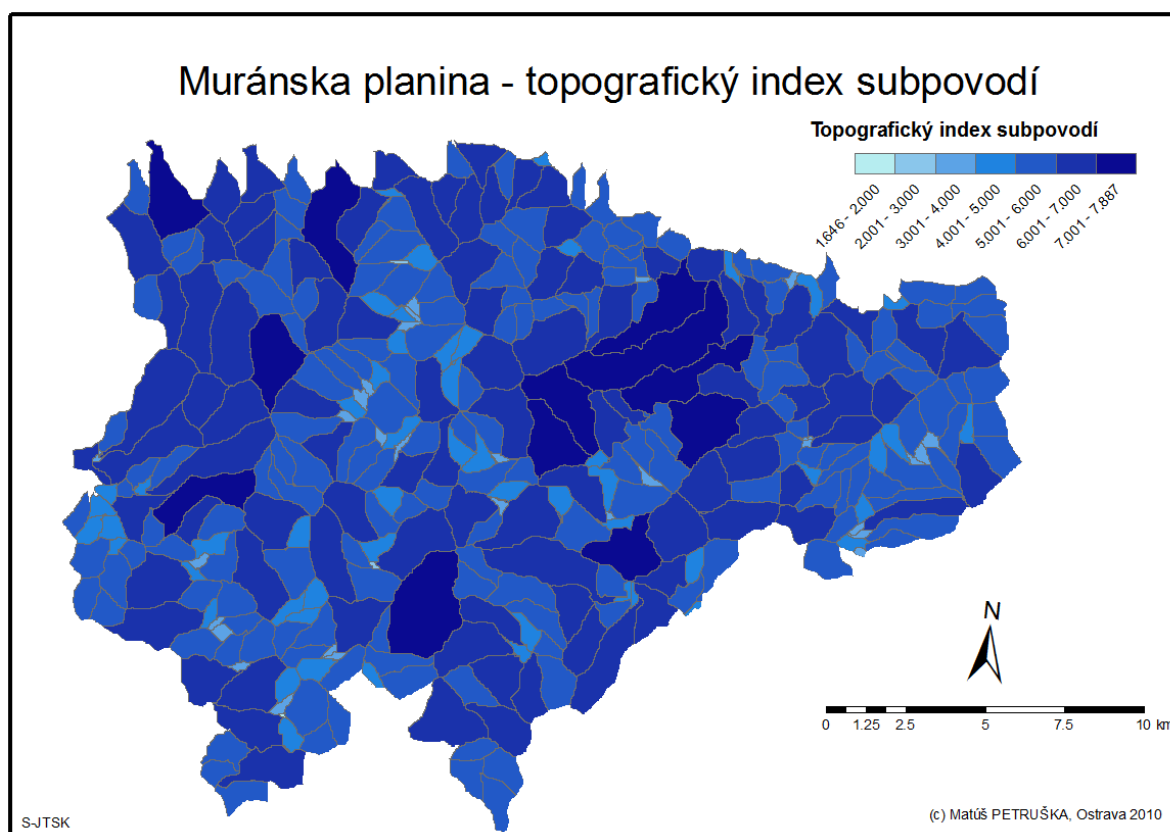
7.1.6 Topografický index

Topografický index je mierou potenciálnej kumulácie podpovrchovej vody v území. Oblasti, ktoré ležia v nižších nadmorských výškach povodí a v blízkosti vodných tokov majú najvyššiu vlhkosť. Oproti tomu tie, ktoré ležia v blízkosti rozvodí a vzdialené od vodných tokov, majú vlhkosť najnižšiu [32]. Čím vyššiu hodnotu topografický index dosahuje, tým má oblasť väčšiu tendenciu ku kulminácii podpovrchovej vody. Teoreticky to teda prenesene znamená väčšiu náchylnosť k vzniku svahových deformácií, preto je to jeden z parametrov vstupujúcich do morfometrickej analýzy reliéfu a následne do k-means zhlukovej analýzy. Počíta sa podľa vzorca:

$$TI = \ln \left(\frac{A_c}{\tan \beta} \right)$$

A_c - plocha subpovodia

β – sklon svahu (v radiánoch)



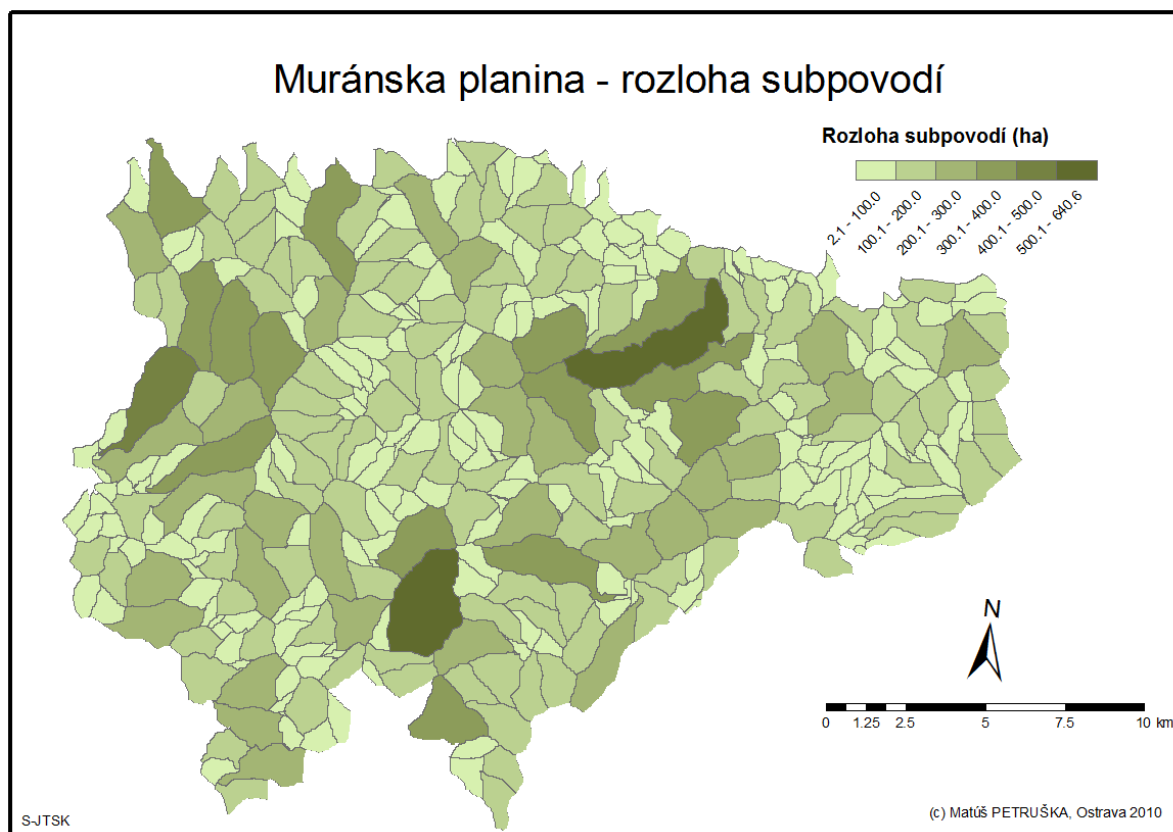
Obrázok 32 - Topografický index subpovodí

Ako možno pozorovať na obrázku 32, na území MP nadobúda hodnoty v rozmedzí 1.646 – 7.887. Najvyšší topografický index majú subpovodia lokalizované hlavne na území od Havranej doliny smerom k vrchu Pavelková (1144 m n. m.). Ďalšie možno pozorovať na území oblasti Zadná Slávča, Janiskovo, severne od vrchu Kučelach (1141 m n. m.), medzi Fabovou Hoľou (1439 m n. m.) a Veľkou Smrekovicou (1332 m n. m.) a medzi potokom Petříkovo a vrchom Brestovec (943 m.n.m.). Na všetkých týchto subpovodiach možno pozorovať väčšiu rozlohu. Najnižšie hodnoty sú najviac zastúpené pozdĺž tokov Hronec, Zdychava, Hrdzavý potok a Furmanec a pre ne sú charakteristické menšie rozlohy subpovodí.

7.1.7 Plocha subpovodí

Plocha subpovodí vstupuje do zhukovej analýzy ako akýsi korekčný parameter.

Plocha subpovodí sa pohybuje od hodnoty 2.1 až po 640.6 ha. Priestorové rozloženie možno pozorovať na obrázku 33.



Obrázok 33 - Rozloha subpovodí

7.2 K-means zhluková analýza

Prvýkrát bola definícia zhlukovej analýzy sformulovaná v roku 1939 Robertom C. Tryonom. Môže sa definovať ako všeobecne logický postup, formulovaný ako procedúra, ktorá zlučuje objekty do zhlukov na základe ich podobnosti a rozdielnosti. Zhluk predstavuje skupinu objektov, ktoré sú si podobné v rámci zhlukov a nepodobné s objektami nachádzajúcimi sa v iných zhlukoch. Metóda k-means klasifikuje vstupné dáta do zhlukov k , ktorých počet je vopred zadaný [34].

K-means zhluková analýza bola spracovaná na štatistickom softvéri NCSS 2004. Jednotky, ktoré boli podrobené tejto analýze boli subpovodia, vygenerované počas výstavby modelu SWAT. Každé subpovodie obsahovalo 7 parametrov (priemerné sklony, vertikálna členitosť, meltonov index, hypsometrický integrál, stredné nadmorské výšky, plocha povodí, topografický index), na základe ktorých boli rozdelené do piatich zhlukov. Tieto parametre boli zapísané v atribútovej tabuľke hraníc subpovodí. Vrstva subpovodí tak predstavovala jediný vstup zhlukovej analýzy. Samotná analýza priradila každej oblasti subpovodia číslo zhluku, do ktorého bola zaradená.

Všetky parametre (okrem plochy povodí) vstupujúce do zhlukovej analýzy sú jedným z rady činiteľov viac či menej predisponujúcich subpovodí k vzniku gravitačných pochodov. Zhlukovaním na základe ich podobnosti môžeme teoreticky usudzovať ich náchylnosť k vzniku týchto pochodov.

7.3 Interpretácia výsledkov K-means zhlukovej analýzy

Výstup tvorí tematická mapa (obr. 34), na ktorej sú jednotlivé subpovodia zaradené do zhlukov. Ďalší výstup tvorí tabuľka 7, v ktorej sú uvedené stredné hodnoty jednotlivých atribútov v rámci zhlukov. Nachádza sa v nej aj číslo charakterizujúce počet subpovodí priradeného do zhluku.

Tabuľka 7 - Výsledky k-means zhlukovej analýzy

Parameter	Klaster 1	Klaster 2	Klaster 3	Klaster 4	Klaster 5
Hypsometrický integrál	0.473	0.431	0.315	0.544	0.379
Meltonov index	0.371	0.202	0.0597	0.196	0.139
Priemerné výšky (m)	893	775	715	1020	780
Priemerné sklony (°)	19.01	22.01	19.00	18.45	14.19
Vertikálna členitosť (m)	524	433	206	392	256
Topografický index	6.66	5.41	3.82	5.66	5.65
Plocha (km ²)	275	98	18	102	78
Počet subpovodí	57	70	55	104	72

Prvý zhluk tvorí 57 subpovodí. Vyznačujú sa najvyššou vertikálnou členitosťou, topografickým indexom ako aj najväčšou plochou. Sú pre ne charakteristické vysoké nadmorské výšky. Celkovo by sa dali zhodnotiť ako rozlohou veľké subpovodia, nachádzajúce sa vo väčších nadmorských výškach. Keďže majú spomedzi zhlukov aj najvyššiu hodnotu Meltonovho indexu, ako aj vyššiu hodnotu hypsometrického integrálu, je u nich spomedzi ostatných zhlukov teoreticky najvyššie riziko výskytu gravitačných svahových deformácií.

Druhý zhluk tvorí 70 subpovodí. Ich výskyt sa vo veľkej miere viaže na blízkosť k vodnému toku. Zo všetkých zhlukov sa vyznačuje najvyšším priemerným sklonom, čo môže byť odôvodniteľné práve väzbou na hlboké doliny. Priemerné hodnoty hypsometrického integrálu, meltonovho indexu i topografického indexu naznačujú priemernú náchylnosť k vzniku deformácií.

Tretí zhluk tvorí celkovo 55 subpovodí. Rozlohou sem patria najmenšie subpovodia, ktorých výskyt sa viaže výlučne na okolie vodných tokov. Nízka hodnota topografického indexu, hypsometrického integrálu a oproti zvyšným zhlukom relatívne extrémne nízka hodnota Meltonovho indexu podporujú tvrdenie, že v týchto subpovodiach je výskyt deformácií zo všetkých 5 zhlukov teoreticky najmenej pravdepodobný.

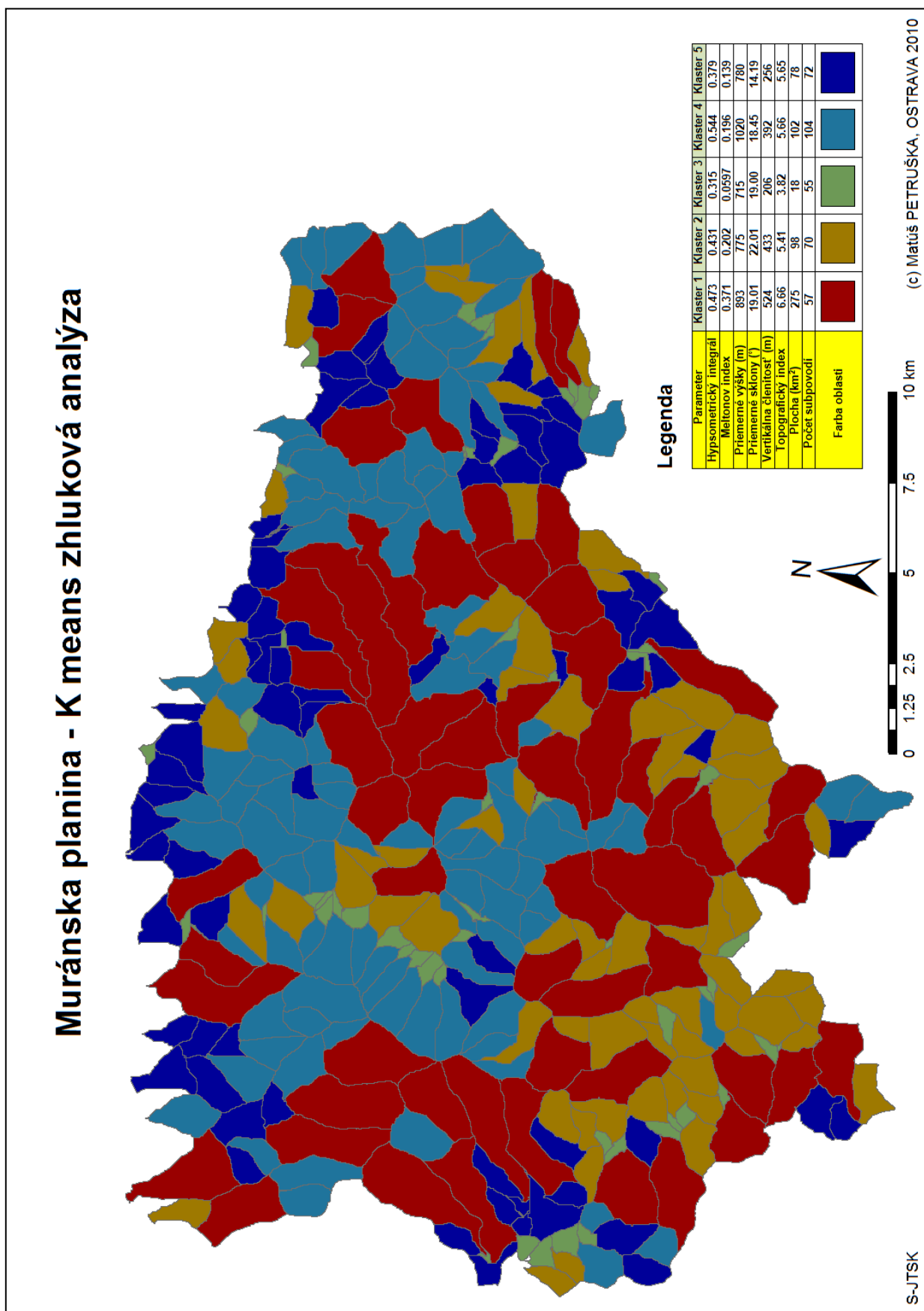
Štvrtý zhluk tvorí 104 subpovodí. Rozlohou patria k stredne veľkým. Majú najvyššiu priemernú hodnotu hypsometrického integrálu. Keďže ako u jediného zhluku prekročila táto hodnota 0.5, značí to konvexný tvar hypsometrickej krivky – teda prevahu vyšších nadmorských výšok. Pri pohľade na priestorové rozmiestnenie sa tento fakt potvrdil – sú lokalizované pri najvyšších vrchoch a oblastiach MP. Toto tvrdenie potvrdzuje aj vyššia hodnota topografického indexu. Celkovo by sa dal tento zhluk hodnotiť ako priemerne náchylný k vzniku deformácií.

Piaty zhluk tvorí 72 subpovodí. Sú charakteristické najnižšími priemernými sklonmi. Priestorovo sú rozmiestnené väčšinou po okrajoch MP pri vyústení tokov z jej územia. Rozlohou patria medzi tie menšie s relatívne nízkou hodnotou Meltonovho indexu, teda je u nich nižší predpoklad k vzniku gravitačných svahových deformácií. Toto tvrdenie podporujú aj najmenšie priemerné sklony spomedzi všetkých zhlukov ako aj nižšia hodnota hypsometrického integrálu a priemerný topografický index.

Z uvedených hodnotení vyplýva, že najväčšiu náchylnosť k vzniku svahových deformácií – plytkých svahových zosuvov má teoreticky zhluk číslo 1. Výskyt subpovodí patriacich do tohto zhluku možno pozorovať na celom území MP. Spomenúť možno oblasť tvoriacu akúsi elipsu, ktorá je vymedzená na severe Magurou (1101 m n. m), na západe hranicou MP, z juhu tokom Rohozná a východne vrchmi Fabova hoľa (1439 m n.m.), Malá Smrekovica (1375 m n. m) a Veľká Smrekovica (1332 m n. m.). Ďalej sem patria oblasti západne od toku Furmanec, okolie Kačkavy, Hrdzavého potoka a Muráňa. Asi najväčšie územie patriace do tohto zhluku je lokalizované v strednej časti MP, zo severu ohraničené vrchnými časťami tokov Havraník a Rácov, na západe vrchom Kľak (1409 m n. m.), južnú hranicu tvorí vrch Pavelková (1144 m n. m.) spolu s vrchnou časťou toku Muráň a na východe obec Muránska Huta. Subpovodia z tohto zhluku sú zastúpene aj v severozápadnej časti MP okolo toku Hron a v severovýchodnej časti pri vrchoch Magura (1071 m n. m) a Ploštiny (1028 m n. m). Z geologického hľadiska sa ich výskyt viaže predovšetkým na granity z obdobia paleozoika a vápence z obdobia stredného triasu. Z hľadiska pedológie zasa na rendziny a podzoly.

Na druhej strane, teoreticky najmenšou náchylnosťou k vzniku deformácií sa vyznačujú subpovodia patriace do zhluku číslo 3. Rozlohou patria k najmenším. Spomenúť možno strednú časť Hronca, vyústenie Rohoznej z MP, oblasti pozdĺž Furmanca a Zdychavy. Prevládajú tu hliny z pleistocénu a fluvialne sedimenty z obdobia kvartéru. Jedná sa z veľkej časti o ploché partie dna údolí. Z pedologického hľadiska ju tvoria hlavne kambizeme podzolové.

Ostatné zhluky som zhodnotil vzhľadom k riziku vzniku deformácií ako priemerne náchylné.



Obrázok 34 - Vizualizácia výsledkov K-means zhlukovej analýzy

8 SHALSTAB

Model SHALSTAB je program na predpovedanie možných oblastí s výskytom plytkých svahových zosuvov. Bol vyvinutý Billom Dietrichom z University of California v Berkeley a Davom Montgomerim z University of Washington pôvodne pre Unixové systémy. V roku 1999 bol portovaný aj do prostredia programu ArcView ako extenzia. Je založený na Mohr-Coloumbovom zákone, kde τ – zložka váhy pôdy na zlome je rovná C – sile odolnosti spôsobenej kohéziou pôdy (a/alebo silou súdržnosti koreňov) a trecej odolnosti efektívneho normálneho napätia na zlomovej ploche [25].

$$\tau = C + (\sigma - u) \tan\phi$$

σ – normálne napätie

u – tlak pórov na normálnu záťaž

$\tan\phi$ – uhol vnútorného trenia masy pôdy na zlomovej ploche

Model predpokladá, že odpor na stranách a konci zosuvu je zanedbaný. Model bol zjednodušený nastavením kohézie na nulovú hodnotu, aj keď je pre väčšinu aplikácií nesprávny. Hoci skalné, piesčité pôdy koluviálne pokrytých povrchov majú pravdepodobne menšiu pôdnu kohéziu, silu koreňov, ktorú možno brať ako dostatočný kohenzívny prvok, zohrávajúci dôležitú úlohu v stabilite svahu (napr. Sidle, 1992). Sila koreňov bola v modeli SHALSTAB eliminovaná z rôznych dôvodov. V prvom rade sa sila koreňov často mení nielen časovo ale aj priestorovo. Hoci odborné výskumy dokazujú, že sila koreňov je merateľná (t.j. Endo and Tsuruta, 1969; Burroughs and Thomas, 1977; Gray and Megahan, 1981), realizácia v praxi by musela vyvolať značné úsilie. Je síce možné pomocou diaľkového prieskumu Zeme zaznamenávať jednotlivé typy rastlínstva za účelom odhadnutia sily koreňov, ale táto metóda požadujúca veľké množstvo informácií o priestorovom rozložení zatiaľ nebola vyvinutá na dostatočnú úroveň. Kompenzáciou za nulovú kohéziu je v tomto modeli nastavenie uhla trenia na vyššiu, no stále akceptovateľnú hodnotu [25]. Po eliminovaní kohézie možno vzťah zapísať ako:

$$\rho_s g z \cos \theta \sin \theta = (\rho_s g z \cos^2 \theta - \rho_w g h \cos^2 \theta) \tan \phi$$

z – hĺbka pôdy

h – úroveň vody nad zlomovou plochou

ρ_s a ρ_w – hustota pôdy a objemu vody

g – gravitačné zrýchlenie

θ – svah

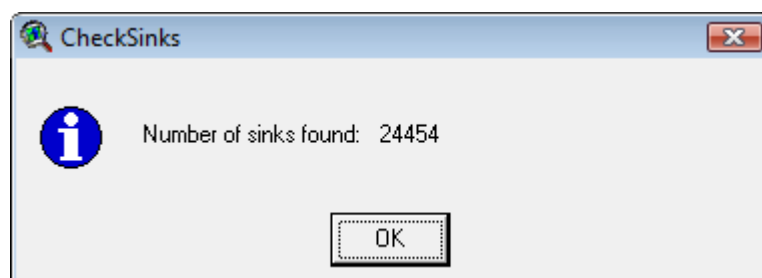
Pred začatím opisu postupu musím poznamenať, že program pri kroku vyplňania depresíí (viď ďalej) prestal pracovať. Keďže sa mi tento problém nepodarilo odstrániť, vyriešil som ho experimentovaním s rozdelením skúmaného územia na menšie časti. Potom som postup vytvárania modelu aplikoval pre všetky časti. Konkrétne ich bolo 8.

8.1 Postup výpočtu

Výpočet modelu SHALSTAB prebiehal v prostredí programu ArcView GIS 3.2. Pred vytváraním samotného modelu bolo potrebné pridanie extenzií Shalstab a Spatial Analyst pomocou menu *File/Extension*. Taktiež bolo potrebné určiť pracovný adresár. Do neho som si skopíroval všetky potrebné dáta pre uľahčenie práce. Načítaním extenzie Shalstab sa do klasického menu ArcView pridalo 5 položiek : *SHALtopo*, *SHALSTAB*, *SHALSTABco*, *SHALSTABtest* a *SHALspecial*.

Prvým krokom bolo načítanie DTM a vrstvy už zmapovaných pôdnych zosuvov, ktorá je súčasťou modelu SHALSTAB, pomocou *Add Theme*.

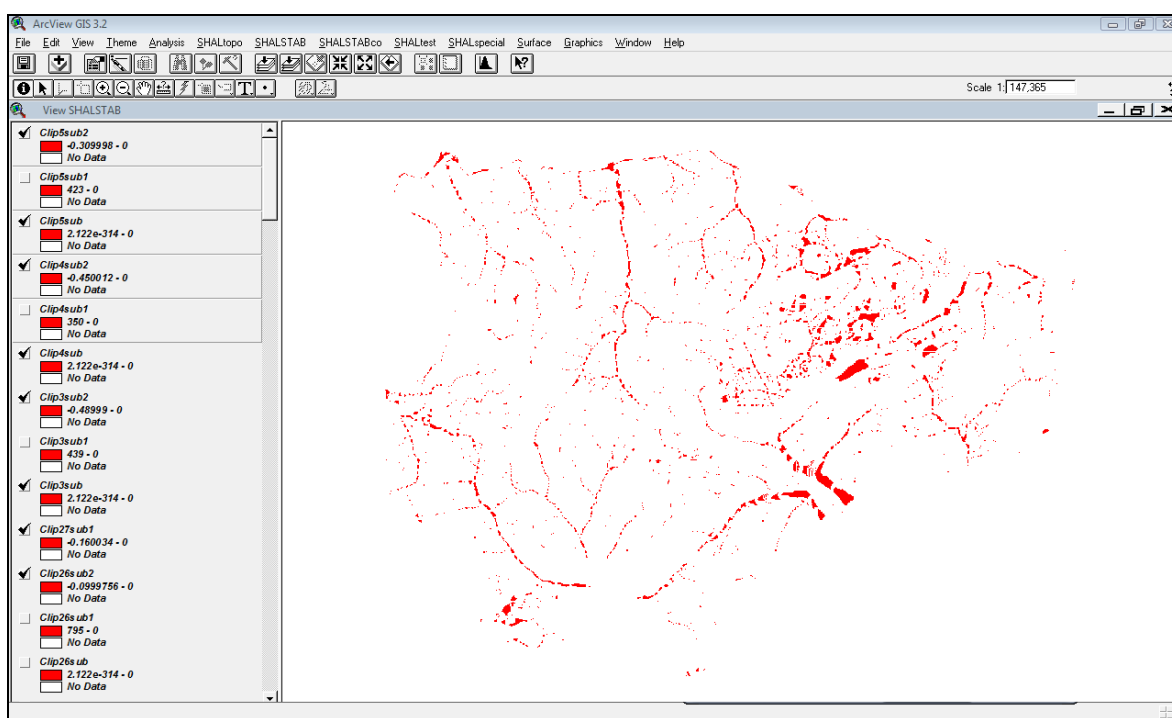
Nasledovalo spočítanie depresíí na skúmanej oblasti, a to pomocou *SHALtopo/Check Sinks*. Ako vidno na obrázku 35, na území MP sa ich nachádza 24454.



Obrázok 35 - Zistenie počtu depresíí

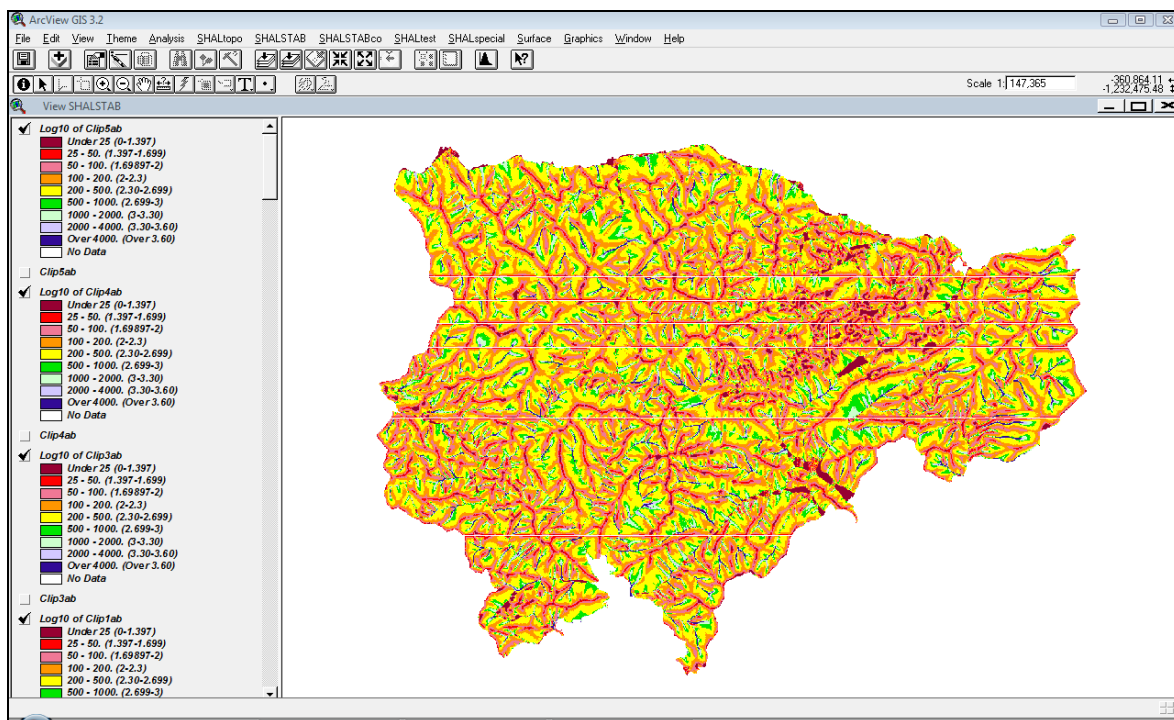
Ďalší krok predstavoval vyplnenie týchto depresíí pomocou *SHALtopo/Remove Sinks*. Dialógové okno tejto funkcie upozorní na fakt, že jednotky výškového rozlíšenia musia byť v metroch. Ak nie sú, musia sa pred pokračovaním prekonvertovať na túto mieru. Nasleduje aj upozornenie, že ak skúmané územie obsahuje prírodné depresie ako jazerá alebo veľké rovné plochy, ako napr. more alebo oceán, k vymazaniu nesmie prísť. Keďže na mojom území sa takéto plochy nenachádzajú, potvrdil som tento krok a následne sa vytvorila vrstva digitálneho modelu terénu s vyplnenými depresiami.

Ďalší krok vykreslil tieto depresie, a to pomocou *SHALtopo/Show Sinks* (obr.36).



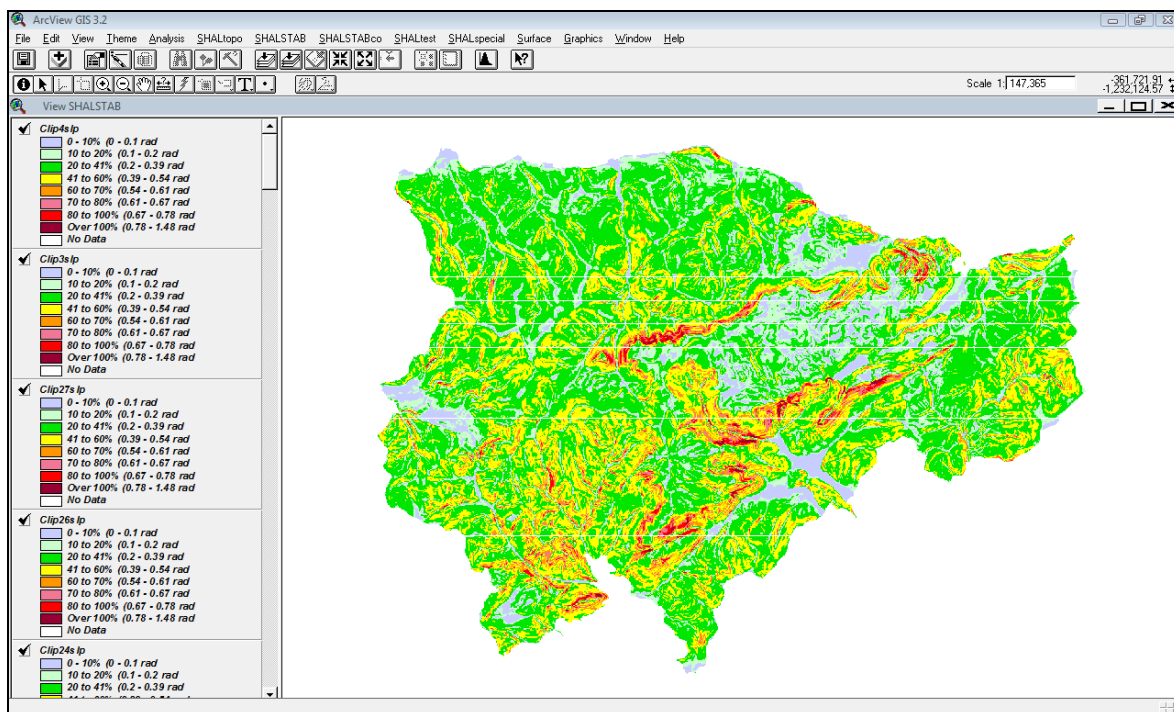
Obrázok 36 - Vykreslenie depresíí

Nasledovalo vypočítanie vrstvy prispievajúcej oblasti (obr. 37) pomocou vrstvy digitálneho modelu terénu s vyplnenými depresiami, a to pre každú bunku zvlášť – menu *SHALtopo/Contributing Area*.



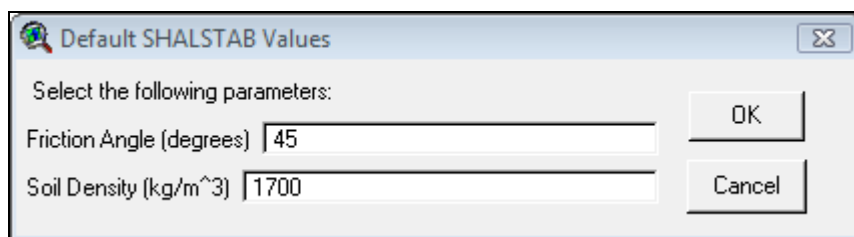
Obrázok 37 - Vrstva prispievajúcej oblasti

Nasleduje vytvorenie vrstvy sklonov pomocou menu *SHALtopo/Slope*, ktorá sa vypočíta z vrstvy DTM s vyplnenými depresiami (obr. 38).



Obrázok 38 - Vypočítané sklony

Nasledujúci krok vytvorí a vypočíta vrstvu samotnej stability svahov. Vypočíta podiel ustáleného stavu efektívnych zrážok k priepustnosti. V prostredí SHALSTAB-u sa táto funkcia nazýva *q/T ratio* a nachádza sa v menu *SHALSTAB*. Na výber sú dve možnosti. Buď sa vypočíta len z DTM alebo z gridov sklonu a ostatných ďalších vypočítaných gridov oblasti. Ja som použil druhú možnosť. Do dialógového okna (obr.39) sa zadávajú dve hodnoty. Je to veľkosť vnútorného trenia (v stupňoch) a hodnota objemovej hmotnosti pôdy (v kg/m^3). Doporučené hodnoty (45° a 1700kg/m^3) som použil aj ja a po potvrdení sa vytvorila samotná vrstva stability svahu.



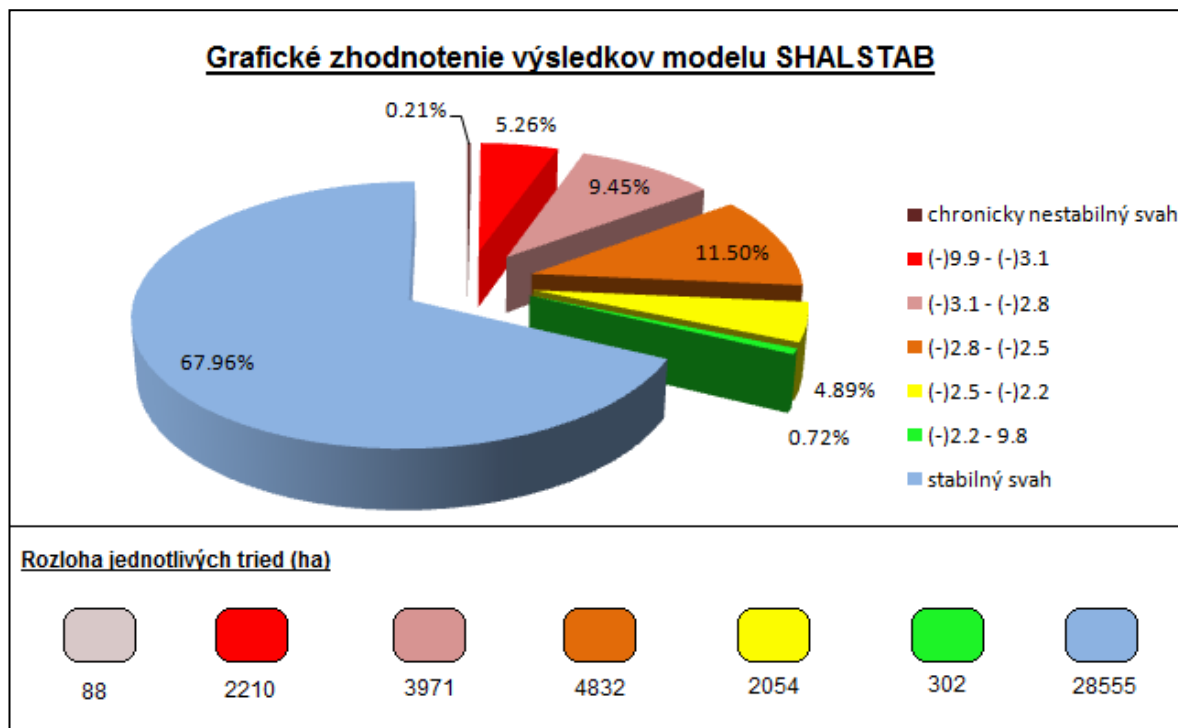
Obrázok 39 - Dialógové okno funkcie q/T Ratio

8.2 Interpretácia výsledkov modelu SHALTAB

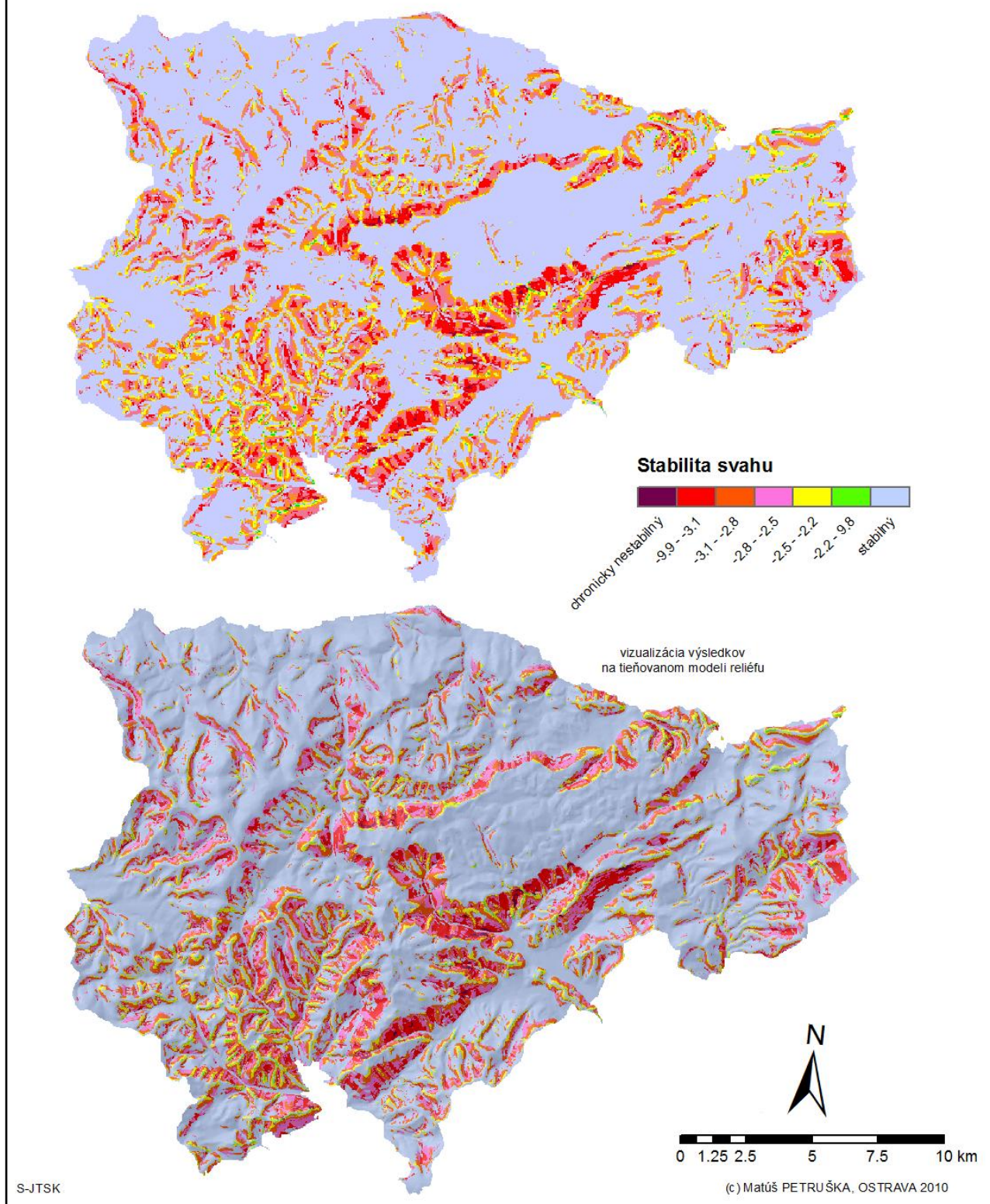
Po vytvorení vrstvy stability svahov pre každú oblasť už ostávalo len ich spojenie a to pomocou funkcie *Mosaic to New Raster* v prostredí programu ArcMap. Výslednú mapu možno vidieť na obrázku 40. Na ňom možno pozorovať index hodnoty stability svahov v rozmedzí $<-10, 10>$. Interval $-10 - -9.9$ predstavuje najvyššiu mieru ohrozenia územia zosuvmi (samotným modelom definovanú ako chronicky nestabilný svah) a postupne k hodnote 10 sa táto miera znižuje, ktorú model definuje ako stabilný svah. Vyčlenenie jednotlivých intervalov som nechal nastavené podľa samotného modelu. Väčšina územia (68%), ako možno pozorovať na grafe 1, má svah charakterizovaný ako stabilný, teda na tomto území je najmenší predpoklad k vzniku zosuvov. Naopak chronicky nestabilný svah má len 0,21% územia. Pomerne vysoký predpoklad k vzniku zosuvov však možno pozorovať v kategóriách do hodnoty -2.8 . Tie tvoria 14% plochy územia. Ich výskyt sa viaže na najstrmšie svahy. Patria sem hlavne územia NPR Malá a Veľká Stožka, Šance, Cigánka, Poludnica, Hrdzavá, Javorníková a Šarkanica. Prevládajúcimi geologickými jednotkami sú vápence, dolomity a pieskovce z obdobia triasu. Dominantnou pôdnou jednotkou sú rendziny. Naopak, pre stabilné svahy sú charakteristické ich menšie

sklony. Keďže tvoria z celkovej plochy územia 68%, ich výskyt možno pozorovať v každej časti MP.

Graf 1 - Percentuálne vyjadrenie miery zosuvov spolu s ich rozlohou podľa modelu SHALSTAB



Muránska planina - stabilita svahu podľa modelu SHALSTAB



Obrázok 40 - Stabilita svahu podľa modelu SHALSTAB

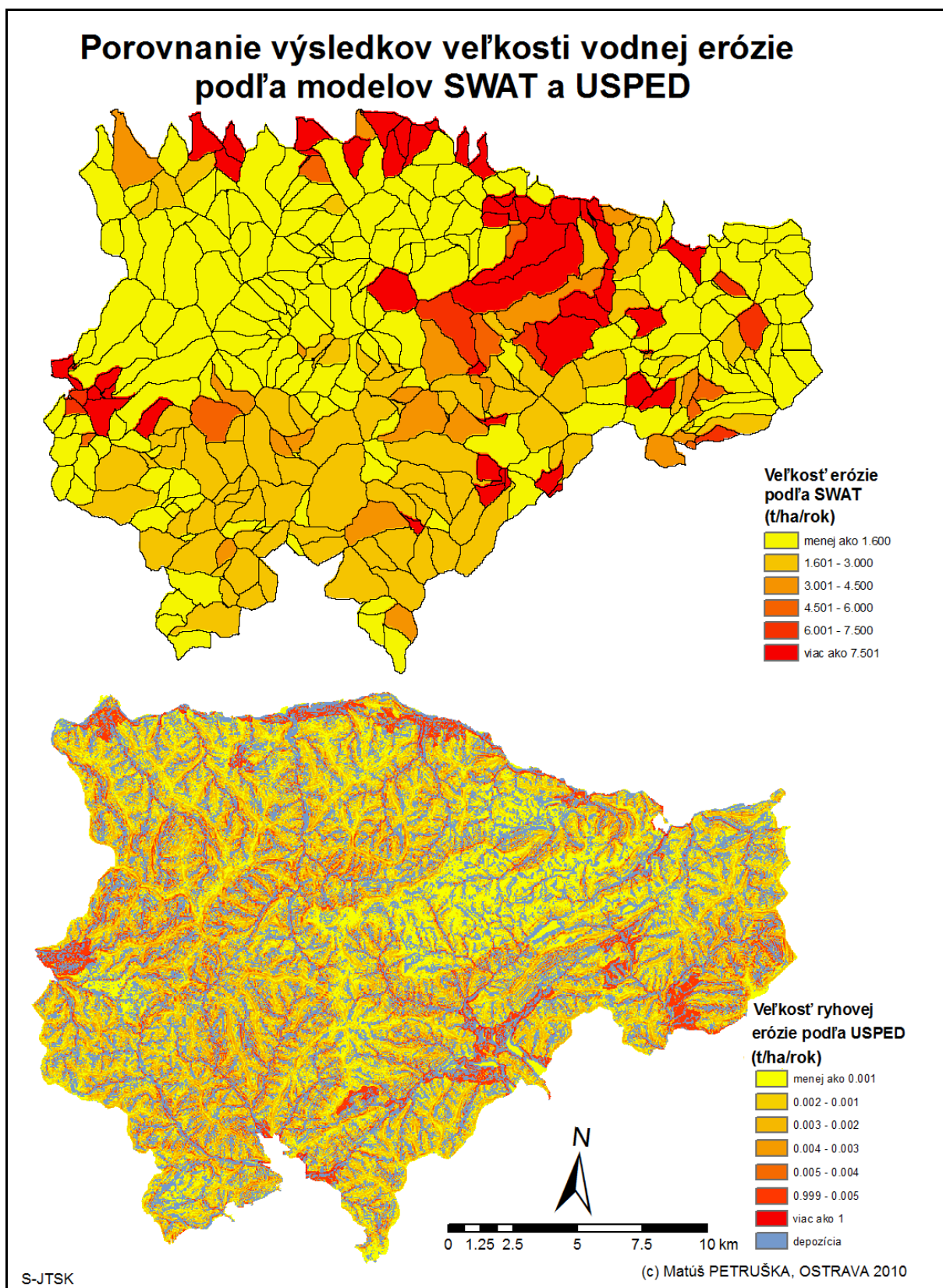
9 Porovnanie výsledkov

9.1 SWAT vs. USPED

Pri porovnávaní výsledkov týchto modelov si treba uvedomiť, že oba pracujú na inom princípe. Ako som už spomínal v úvodných častiach práce, výpočet modelu USPED pracuje nad bunkou rastru. Z priestorového aj časového hľadiska ho možno zaradiť medzi statické. Naproti tomu SWAT pracuje nad hydrologicky relevantnými odtokovými jednotkami na ploche celého študovaného územia – subpovodiami. Je schopný simulovať rad procesov nielen v priestore, ale aj v čase. Ide teda o model dynamický (Šír, 2008).

Priestorové rozmiestnenie hodnôt sa veľmi ťažko porovnáva z už vyššie spomínaných dôvodov. Ale pri pohľade na vysoké hodnoty výsledkov oboch modelov možno pozorovať istú podobnosť v rámci ich priestorového rozloženia (obr.41). V okolí Hrona a prítokov z územia MP oba predpovedajú v rámci svojej klasifikovanej stupnice, vysoké hodnoty erózie. Podobné výsledky dosahujú taktiež v okolí tokov Hutský potok, Zdychava, Lehotský potok a pri vyústení tokov Muráň, Koniarky a Rohozná z oblasti MP. Aj čo sa týka priestorového rozmiestnenia najnižších hodnôt erózie, oba modely predpovedajú podobné oblasti. Tu však treba spomenúť fakt, že v oboch modeloch takto hodnotené územie tvorí väčšinu celkového územia, u modelu USPED je dokonca tento podiel územia takpovediac drvivý. Modely si v rámci predpovede oblastí potencionalnej erózie asi najviac protirečia v strednej časti územia MP, konkrétne v okolí náučnej lokality Studňa, severne od NPR Veľká Stožka, oblasť medzi vrchmi Veľký Cigán (1235 m n. m) a Hôrka (951 m n. m.), od NPR Šiance severovýchodne k sedlu Javorinka ako i v ďalších oblastiach.

Celkovo by sa dali oba modeli zhodnotiť z pohľadu výsledkov predpovede potencionalnej erózie ako neprotichodné. Síce nepodávajú rovnaké výsledky, ale na druhej strane na mnohých miestach predpovedajú výsledky podobné. Oba sú stavané pre inú oblasť praktického využitia. USPED môže nájsť svoje uplatnenie napr. v procese krajinného plánovania a rozhodovania a v rámci nich na vytipovanie potencionalných území, ktoré môžu byť zasiahnuté vodnou eróziou. Model SWAT zasa môže poslúžiť pri situáciách, kde je potrebné vypočítať konkrétnu mieru erózie, aby čo najlepšie vystihovali reálnu situáciu v povodí (Šír, 2008).



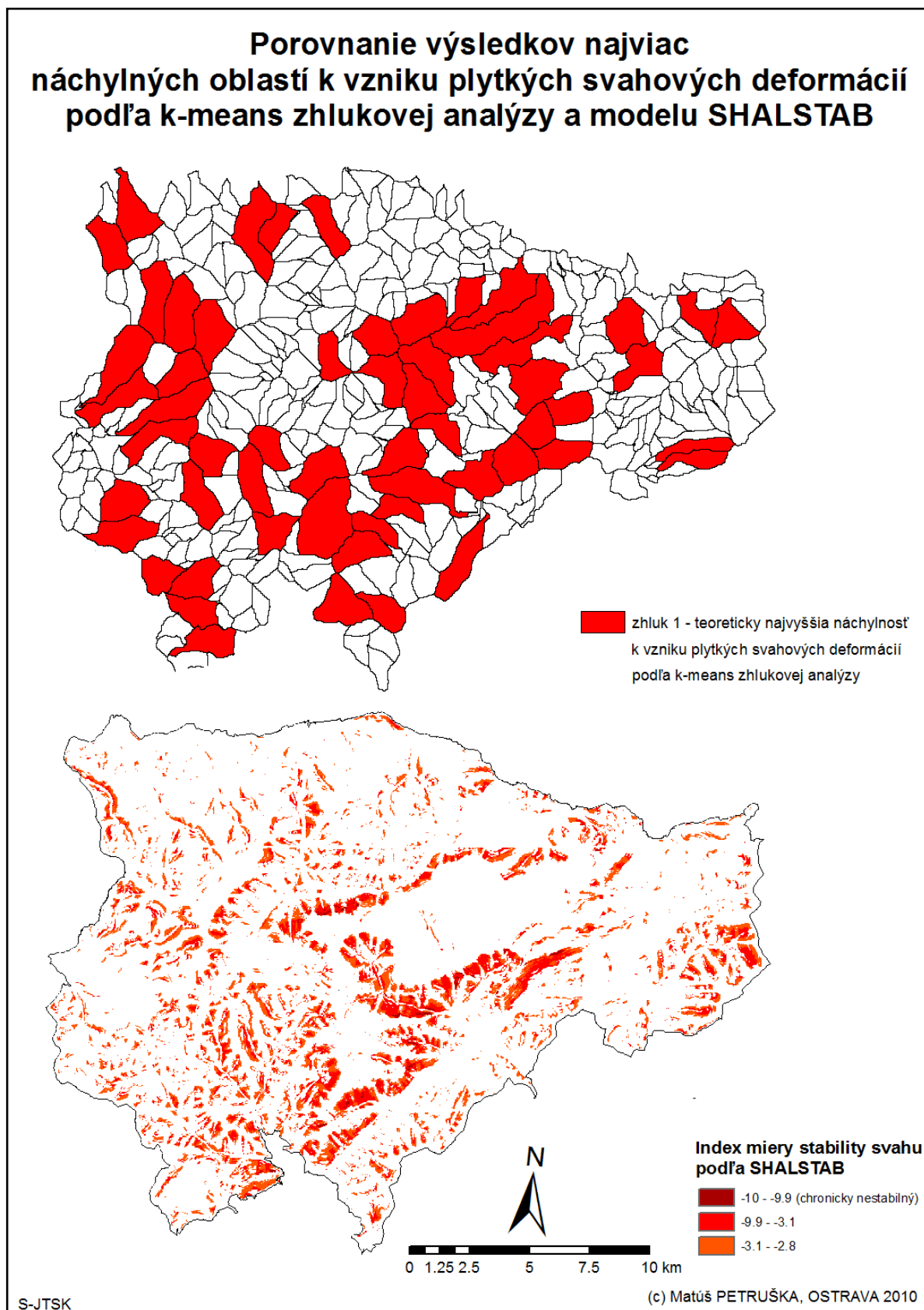
Obrázok 41 - Porovnanie výsledkov modelov SWAT a USPED

9.2 Morfometrická analýza reliéfu vs. SHALSTAB

Porovnanie morfometrickej analýzy a modelu SHALSTAB sa javí ako jednoduchšie, keďže obe metódy pracujú len s vrstvou DTM. Naproti tomu nastáva rovnaký problém, ako to bolo v prípade modelov SWAT a USPED. Jedná sa o priestorové spracovanie. Zatiaľ čo model SHALSTAB pracuje a vykonáva výpočty nad bunkou gridu, morfometrická analýza pracuje s dielčimi povodiami – subpovodiami.

Pre porovnanie možného výskytu plytkých svahových deformácií beriem v úvahu zhluk číslo 1 z k-means zhlukovej analýzy a intervaly v rozmedzí $<-10, -2.8>$ z modelu SHALSTAB, keďže u týchto tried možno predpokladať najvyššiu mieru náchylnosti k zosuvom (obr. 42). Podobné výsledky možno pozorovať v strednej časti územia MP, začínajúcej západne od obce Muránska Huta smerom k oblasti Cigánka, tiahnuc sa juhozápadne až k hranici MP pri obci Tisovec. Ďalšou oblasťou je územie medzi vrchnými časťami tokov Rácov a Havraník, ako i početné oblasti v západnej a juhozápadnej časti MP. Celkovo možno povedať, že použité metódy sa navzájom potvrdzujú. Svahy, ktoré model SHALSTAB klasifikoval ako najviac nestabilné a teda najviac náchylné k vzniku svahových deformácií, k-means zhluková analýza z veľkej časti zaradila do zhliku číslo 1, ktorý hodnotím tiež ako najviac náchylný k ich vzniku. Rozdiely možno pozorovať hlavne v strednej časti MP okolo vrchu Veľký Cigán (1235 m n. m). To však možno vysvetliť práve rozdielnym priestorovým spracovaním oboch metód.

Z celkového hľadiska teda možno potvrdiť, že použité metódy sa navzájom dopĺňajú a podporujú svoje výsledky.



Obrázok 42 - Porovnanie výsledkov K-means zhlukovej analýzy a modelu SHALSTAB

10 Záver

Cieľom práce bolo analyzovať vybrané prírodné riziká na Muránskej planiny. Konkrétne sa jednalo o hodnotenie vodnej erózie a plytkých svahových deformácií – plytké zosuvy pôdy. Na analýzu oboch boli použité po dve metódy.

Výsledky použitých metód, sa aj napriek ich rozdielnemu princípu fungovania, aspoň čo sa týka priestorového rozloženie najviac ohrozených území, v istej miere podporujú. Týka sa to hlavne hodnotenia miery plytkých zosuvov pôdy. Je to pochopiteľné a môže byť odôvodniteľné tým, že oba pracujú len s jednou vstupnou vrstvou – DTM. Hoci model SHALSTAB počíta stabilitu svahu pre každú bunku zvlášť a morfometrická analýza v rámci jednotlivých automaticky vygenerovaných subpovodí, oblasti výskytu najviac ohrozených oblastí sú na mnohých miestach podobné. Pri hodnotení vodnej erózie je už podobnosť výsledkov menšia, ale aj tu možno pozorovať istú priestorovú závislosť. Náplňou tejto práce bola analýza rizík, preto sa ako lepšia možnosť v tomto smere javí využitie modelu USPED, keďže ten predpovedá hypotetickú priemernú dlhodobú hodnotu straty pôdy. Medzi jeho klady patrí, že okrem erózie vypočíta aj hodnoty depozície sedimentov. Využitie modelu SWAT by bolo lepšie v prípade, že chceme simulovať reálnu eróziu v povodí. Oproti modelu USPED, ktorý poskytuje len výslednú hodnotu erózie/depozície, tento ponúka mnoho ďalších výsledkov. Jeho výhodou je aj fakt, že v prípade chýbajúcich vstupných údajov, si ich vie vygenerovať. Avšak práve dlhším modelovaním vstupných údajov dochádza k vzniku ďalších neistôt. Náročnosť na dáta je hlavnou nevýhodou modelu SWAT.

Každá použitá metóda má svoje výhody aj nevýhody, preto za kľúčový aspekt pri ich výbere možno považovať cieľ práce ako aj dostupnosť a kvalitu vstupných dát.

Celkovo možno použitie geoinformačných technológií v rámci analýzy prírodných rizík zhodnotiť ako nepostrádateľné a prospešné. Oproti terénnemu výskumu ponúkajú výsledky rýchlo, prakticky okamžite a pohodlne. Daňou za tieto plusy je častokrát menšia presnosť výsledkov. Je na užívateľovi, či je túto daň ochotný zaplatiť.

Použité informačné zdroje

Literatúra

- [1] AZOR, A., KELLER, E. A., YEATS, R. S. (2002): *Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California*. Geological Society of America Bulletin, 114, str. 745-753.
- [2] BELANOVÁ, S. 2005. Krasové lokality Muránskej planiny. In *Ochrana prírody Slovenska*, 2005, roč. 3, č. 3, s. 17.
- [3] BERTA, J. et al. 1986. *Geobotanická mapa ČSSR : Slovenská socialistická republika, Brezno*. Mierka 1 : 200 000. Bratislava : Veda, vydavateľstvo SAV, 1986. 162 s.
- [4] ČAPUTA, A., DAROLA, J., GOČÁL, E. 1991. Živočíšstvo. In PELIKÁN, V., VOLOSČUK, I. (eds) : *CHKO Muránska planina*. Bratislava : Obzor, 1991. s. 122 – 139.
- [5] DI LUZIO, M., SRINIVASAN, R., ARNOLD, J.G., NIETSCH, S.L. (2002): *ArcView Interface For SWAT2000. User's Guide*. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas. TWRI Report TR-193, 345s.
- [6] GELABERT, B., FORNÓS, J. J., PARDO, J. E., ROSELLÓ, V. M., SEGURA, F. (2005): *Structurally controlled drainage basin development in the south of Menorca (Western Mediterranean, Spain)*. Geomorphology 64, s. 139 – 155.
- [7] Chábera S. (1996): *Geomorfologie*. Účební texty PF JČU České Budějovice, České Budějovice. S. 28 – 35

- [8] KÁMEN, S. 1986. *Krasové javy v CHKO Muránska planina*. In STOCKMANN, V. (ed.) : *Chránené územia Slovenska. Spravodajca zväzok 6*. Bratislava : Obzor, 1986. s. 81 – 83.
- [9] KLINEC, A. 1991. *Geologická stavba*. In PELIKÁN, V., VOLOŠČUK, I. (eds) : *CHKO Muránska planina*. Bratislava : Obzor, 1991. s. 11 – 18.
- [10] KULLMAN, E. 1991. *Vodstvo*. In PELIKÁN, V., VOLOŠČUK, I. (eds) : *CHKO Muránska planina*. Bratislava : Obzor, 1991. s. 35 – 44.
- [11] LINKEŠ, V., ŠÁLY, R. 1991. *Pôdy*. In PELIKÁN, V., VOLOŠČUK, I. (eds) : *CHKO Muránska planina*. Bratislava : Obzor, 1991. s. 44 – 59.
- [12] LUKNIŠ, M. 1975. *Muránska planina z hľadiska vývoja reliéfu a ochrany prírody*. In BAKO, J. (ed.) : *Československá ochrana prírody. Zväzok 14*. Bratislava : Príroda, SÚPSOP a ochrana prírody v Bratislave, 1975. s. 107 – 115.
- [13] MAZÚR, E., LUKNIŠ, M. 2002. *Geomorfologické jednotky - mapa č. IV/21*. Mierka 1 : 1 000 000. In HRNČÁROVÁ, T. (ed.) : *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava, Banská Bystrica : Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenská agentúra životného prostredia, 2002. s. 88.
- [14] MITTNER, P. 1991. *Povrch*. In PELIKÁN, V., VOLOŠČUK I. (eds) : *CHKO Muránska planina*. Bratislava : Obzor, 1991. s. 18 – 27.
- [15] PETRUŠKOVÁ, E. (2006): *Inventarizácia cievnatých rastlín prírodnej rezervácie Čertova dolina*. Diplomová práca. Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica

- [16] PASÁK, Vlastimil. 1984. *Ochrana pôdy pred erozií*. Praha: státní zemědělské nakladatelství, 1984. 160 s.
- [17] RACLAVSKÝ, K., RACLAVSKÁ, H., MATÝSEK, D. (2005): *Ochrana půd. CD-ROM*. VŠB-TU Ostrava, Ostrava.
- [18] RICHNAVSKÝ, J. (2008): *Návrh optimalizácie hospodárenia na poľnohospodárskej pôde s pomocou erózných modelov*. Diplomová práca. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava.
- [19] ŠÁLY, R., ŠURINA, J. 2002. *Pôdy – mapa č. IV/39. Mierka 1 : 500 000*. In HRNČÁROVÁ, T. (ed.) : *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava, Banská Bystrica : Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenská agentúra životného prostredia, 2002. s. 107.
- [20] ŠÍR, B. (2008): *Modelování fluvialní eroze a transportu sedimentů na vybraných povodích moravskoslezských beskyd*. Diplomová práce. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, Ostrava.
- [21] ŠÍR, B. (2007). *Morfometricko-statistická analýza digitálneho modelu reliéfu moravskoslezských beskyd*. Diplomová práca. Ostravská univerzita, Ostrava
- [22] ŠŤASTNÝ, P. 1991. *Podnebie*. In PELIKÁN, V., VOLOŠČUK, I. (eds) : *CHKO Muránska planina*. Bratislava : Obzor, 1991. s. 27 – 35.
- [23] VOLOŠČUK, I. 1991. *Poloha a rozloha*. In PELIKÁN, V., VOLOŠČUK, I. (eds) : *CHKO Muránska planina*. Bratislava : Obzor, 1991. s. 9 –11.
- [24] WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. (1978): *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Agr.Handbook No.537*, U.S.Dept.of Agriculture, Washington, D.C.

Internetové zdroje

[25] *Shalstab tutorial*, február 2009, dostupný na
<<http://calm.geo.berkeley.edu/geomorph//shalstab/theory.htm>>

[26] *Using shalstab in arcview*, Dr. Andre Lehre, Dept. of Geology, Humboldt State University, február 2009, dostupný na
<http://www.humboldt.edu/~geology/courses/geology551/551_handouts/using_SHALSTA_B.pdf>

[27] MINÁR, J. (2003): *Morfografia a morfometria*, marec 2010, dostupný na
<http://www.fyzickageografia.sk/minar/02_mfgrafia_mfmetria.html>

[28] MITAS, L., MITASOVA, H.: *Erosion/deposition modeling with USPED using GIS*, University of Illinois, Marec 2010, dostupný na
<<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helenagmslab/denix/usped.html>>

[29] LIESKOVSKÝ, J., (2009) *Štatistické overenie vybraných modelov vodnej erózie pre použitie v ekologickej optimalizácii krajiny*. Ústav krajinnej ekológie SAV Bratislava. Nitra., Marec 2010, dostupný na
<http://www.sagi.sk/Portals/0/Podujatia/2009/FMG_09/Lieskovsky.pdf>

[30] SCHNEIDER, P. (2006): *Vodní eroze*. Február 2010, dostupný na
<<http://www.sweb.cz/eroze/rusle.htm>>

[31]
http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99%C3%ADrodn%C3%AD_ohro%C5%BEen%C3%AD_a_rizika

[32] http://af.czu.cz/~penizek/Pruzum%20pud/Relief_tisk.pdf

[33] http://jgcgeography.ic.cz/seminar_gbv/geomorfologie.pdf

[34] KRIŠKA, J. (2006) : *Hierarchická a nehierarchická zhuková analýza*. STU

Bratislava, apríl 2010, dostupný na

<<http://www2.fiit.stuba.sk/~kapustik/ZS/Clanky0607/kriska/index.html>>

[35] http://www.vtaky.sk/vvu/vvu_oblast.php?id=19

[36] ILAVSKÁ, Blanka – JAMBOR, Pavel – LAZÚR, Richard. *Identifikácia ohrozenia kvality pôdy vodnou a veternou eróziou a návrhy opatrení*. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznectva a ochrany pôdy, 2005. 60 s. [cit. Marec 2009]. dostupný na <http://www.vupu.sk/publikacie_rozne.htm>

[37] <http://www.geomodel.sk/sk/vyskum/erozia/soileros50-sk.htm>

[38] <http://uregina.ca/~sauchyn/geog323/hjulstrom.gif>

[39] ZALUSKI, M. H., CONSORT, J.J., ANTONIOLI, S.B. : *Soil Erosion and Deposition Modeling Using ARCGIS*, 200 Technology Way, Butte, Montana, marec 2010, dostupný na <<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/denix/usped.html>>

[40] KOCO, S.(2007): *Použitie modelov výmoľovej erózie v geografickom informačnom systéme Grass*. Február 2010 dostupný na <http://citadel.ukf.sk/konferencia/papers/PDF_Geografia/Koco.pdf>

Mapové zdroje

KONČEK, M. (1980): Klimatické oblasti. 1 : 1 000 000. In: Atlas Slovenskej socialistickej republiky, SAV, Bratislava, 1980

Turistické mapy, 1 : 50000, čísla 123, 134, 135; Vojenský kartografický ústav, š.p. Harmanec 2000;

Zoznam obrázkov

Obrázok 1 - Vymedzenie územia Muránskej planiny	2
Obrázok 2 - Geologické členenie Muránska planiny	7
Obrázok 3 - Vertikálna členitosť Muránskej planiny	8
Obrázok 4 - Hlavné pôdne jednotky na území NP Muránska Planina	11
Obrázok 5 - Riečna sieť	13
Obrázok 6 - Využitie krajiny podľa CORINE Land Cover	18
Obrázok 7 - Vzťah medzi eróziou pôdy a zrážkami	21
Obrázok 8 - Vzťah medzi transportom a depozíciou sedimentov pri erózii	22
Obrázok 9 - Časti svahu pri pôsobení zosuvu	23
Obrázok 10 - Dialógové okno funkcie Automatic Delineation.	28
Obrázok 11 – Schematizované územie Muránskej planiny	28
Obrázok 12 - Dialogové okno funkcie Land Use and Soil definition.	30
Obrázok 13 - Okno vkladania klimatických staníc a meteoprvkov	31
Obrázok 14 - Okno WXGEN generátora	32
Obrázok 15 - Proces generovania vstupov	33
Obrázok 16 - Nastavenie a spustenie simulácie SWAT	34
Obrázok 17 - Priebeh simulácie SWAT	34
Obrázok 18 – Vizualizácia výsledkov simulácie SWAT	37
Obrázok 19 - Rozloženie faktora R	42
Obrázok 20 - Rozloženie faktora C	43
Obrázok 21 - Schematický náčrt trvalého úhora	44
Obrázok 22 - Rozloženie faktora K	45
Obrázok 23 - Okno modulu Raster Calculator	46
Obrázok 24 – Výsledná mapa ryhovej erózie/depozície podľa modelu USPED	49
Obrázok 25 - Výsledná mapa plošnej erózie/depozície podľa modelu USPED	50
Obrázok 26 - Stredná nadmorská výška subpovodí	53
Obrázok 27 - Vertikálna členitosť subpovodí	54
Obrázok 28 - Hypsometrický integrál subpovodí	55
Obrázok 29 - Meltonov index subpovodí	57
Obrázok 30 - Meltonov index subpovodí - hraničná hodnota 0,25	57

Obrázok 31 - Priemerné sklony subpovodí	58
Obrázok 32 - Topografický index subpovodí	59
Obrázok 33 - Rozloha subpovodí.....	60
Obrázok 34 - Vizualizácia výsledkov K-means zhlukovej analýzy.....	64
Obrázok 35 - Zistenie počtu depresíí	66
Obrázok 36 - Vykreslenie depresíí.....	67
Obrázok 37 - Vrstva prispievajúcej oblasti.....	68
Obrázok 38 - Vypočítanie sklonov.....	68
Obrázok 39 - Dialógové okno funkcie q/T Ratio.....	69
Obrázok 40 - Stabilita svahu podľa modelu SHALSTAB.....	71
Obrázok 41 - Porovnanie výsledkov modelov SWAT a USPED.....	73
Obrázok 42 - Porovnanie výsledkov k-means zhlukovej analýzy a modelu SHALSTAB.	75

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 - Využitie krajiny podľa databázy SWAT	29
Tabuľka 2 - Kvantitatívne zhodnotenie výsledkov modelu SWAT	36
Tabuľka 3 - Percentuálne rozdelenie faktora R počas vegetačného obdobia	41
Tabuľka 4 - Priemerné zrážky za obdobie 1981 - 2007	42
Tabuľka 5 - Kategórie vrstvy LandCover a jej prislúchajúce hodnoty C	43
Tabuľka 6 - Faktor K pre jednotlivé pôdne typy	45
Tabuľka 7 - Výsledky k-means zhlukovej analýzy.....	61
Tabuľka 8 - Charakteristické vlastnosti pôd.....	84

Prílohy

Tabuľka 8 - Charakteristiky pôd

Charakteristika pôdy Pôdny druh	Podzoly	Rendziny	Kambizem modálna	Kambizem pseudoglejová	Kambizem podzolová
HYDRGRP - hydrologická skupina	B	C	B	C	B
TEXTURE - textúra	Piesočnatá	Hlinitá	Hlinitá	Ílovito-hlinitá	Hlinito- piesočnatá
SOL_Z - hĺbka [mm]	90	500	1000	1000	1000
SOL_BD - objemová hmotnosť vody [% váhy vody]	1,25	1,25	1,30	1,30	1,30
SOL_AWC- dostupná vodná kapacita [mm]	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
SOL_K - nasýtená hydraulická vodivosť [mm]	25,5	18	18	18	50
SOL_CBN - obsah humusu [% váhy pôdy]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
CLAY - podiel ílovitých častíc [% váhy pôdy]	20,00	25,00	20,00	25,00	10,00
SILT - podiel prachových častíc [% váhy pôdy]	60,00	60,00	60,00	60,00	30,00
SAND - podiel piesčitých častíc [%]	20,00	15,00	20,00	15,00	60,00
SOL_ALB - miera obrazivosti pôdy [%]	0,17	0,16	0,16	0,16	0,00
USLE_K - faktor erodovateľnosti pôdy	0,20	0,23	0,31	0,23	0,25